

HAVO

Biologie voor jou

bvj



bvj

5a

HAVO

biologie voor jou
LEEROPDRACHTENBOEK



BIOLOGIE VOOR DE BOVENBOUW
HAVO

AUTEURS

MARIANNE GOMMERS
ARTHUR JANSEN
ANDRÉ VAN LEIJEN
RUUD PASSIER
HANS RAWEE
THEO DE ROUW

EINDREDACTIE

ILSE GMELIG
LINEKE PIJNAPPELS

MET MEDEWERKING VAN

PAULA VAN KRANENBURG
CEES MULDER
RENÉ WESTRA

MAX RELEASE 2020

MALMBERG 'S-HERTOGENBOSCH
WWW.BIOLOGIEVOORJOU.NL

Voorwoord

Dit boek maakt deel uit van de methode *Biologie voor jou* voor de bovenbouw van het havo. Met deze methode kun je (met aanwijzingen van je docent) oefenen op je eigen niveau, en je goed voorbereiden op proefwerken en examens. We gebruiken in deze methode ‘docent’, ‘leerling’ en ‘bioloog’ voor beide geslachten.

Biologie voor jou bestaat uit leeropdrachtenboeken, uitwerkingenboeken en een digitale leeromgeving. Je kunt alle onderdelen uit het boek ook daarin doen.

OPBOUW VAN DE THEMA'S

Biologie voor jou is opgedeeld in thema's. In een thema wordt de leerstof van een bepaald onderwerp uit de biologie behandeld. Alle thema's in de delen 4 en 5 havo samen vormen de gehele leerstof voor het biologie-examen havo. De thema's bestaan steeds uit dezelfde onderdelen. Deze staan hierna beschreven.

ONTDEKKEN

In deze context kun je de leerstof ontdekken door een maatschappelijke vraag of probleem op te lossen. Zo ontdek je welke rol biologie speelt in het dagelijks leven. Ook maak je alvast kennis met een deel van de leerstof van het thema. Je docent zegt of en wanneer je met ‘Ontdekken’ aan de slag gaat.

BASISSTOF

In de basisstoffen staat in tekst en beeld alle leerstof die je moet kennen. Ook staan er opdrachten in waarmee je de leerstof oefent. Met behulp van het uitwerkingenboek kun je deze opdrachten zelf nakijken. Je kunt de opdrachten ook maken in de digitale leeromgeving. Bij moeilijke opgaven krijg je direct feedback en de gesloten opgaven worden automatisch nagekeken. Je ziet dan meteen het goede antwoord. Aan het einde van sommige basisstoffen staat een verwijzing naar een opgave uit de Biologie Olympiade. Deze kun je herkennen aan het  symbool. Dergelijke opgaven zijn extra uitdagend. De opgaven waarnaar verwezen wordt, staan achter in dit boek.

SAMENHANG

Met de context in de ‘Samenhang’ leer je nog beter verbanden te leggen tussen de leerstof uit de basisstoffen. Je leert om de verschillende organisatieniveaus in de biologie met elkaar te verbinden, van klein naar groot en andersom.

PRACTICA

De practica staan overzichtelijk bij elkaar in een aparte paragraaf. Bij elk practicum is aangegeven bij welke basisstof het practicum hoort. Veelgebruikte biologische technieken staan in aparte kaders zodat je deze gemakkelijk kunt opzoeken.

AFSLUITING

In de samenvatting staat precies omschreven wat je moet kennen en kunnen voor een proefwerk of toets. De samenvatting is opgedeeld in leerdoelen. Deze leerdoelen kun je ook terugvinden in de basisstoffen. Hierdoor kun je opzoeken welke leerstof bij de samenvatting hoort.

EXAMENTRAINER

Je kunt het thema afsluiten met de ‘Examentrainer’. De examentrainer helpt je niet alleen bij de voorbereiding op het examen, maar brengt ook verband aan tussen

ONTDEKKEN

Honderd jaar hardlopen 8

BASISSTOF

1 Chemie in cellen	10
2 Enzymen	14
3 Fotosynthese	19
4 Voortgezette assimilatie	22
5 Dissimilatie	29
6 Intensiteit van de stofwisseling	34

SAMENHANG

Koe neemt gas terug 38

VERRIJKINGSSTOFFEN

Stofwisseling bij sport	
Practicum: Brandstof voor gistcellen	
Leren en werken: Analist	

PRACTICA 40

AFSLUITING

Samenvatting	44
Flitskaarten	
Test Jezelf	

Examentrainer 46

▲ Opbouw van thema 1

de verschillende thema's. Zo leer je de samenhang tussen begrippen en processen beter te zien.

EXTRA IN DIGITALE LEEROMGEVING

In de digitale leeromgeving vind je dezelfde onderdelen als in het boek. Daarnaast zijn er verrijkingsstoffen, Test Jezelfs, oefentoetsen, flitskaarten, de Versterk Jezelf en links naar filmpjes over biologische onderwerpen. Deze onderdelen staan hierna beschreven.

VERRIJKINGSSTOF

De verrijkingsstoffen staan alleen online en bevatten extra stof bij het thema. Met de verrijkingsstoffen kun je extra kennis of vaardigheden opdoen, of oefenen op een meer uitdagend niveau.

TEST JEZELF EN OEFENTOETS



Je kunt elke basisstof afsluiten met Test Jezelf. Hierbij krijg je vragen om te testen of je de basisstof voldoende beheerst. Maak je een vraag fout, dan krijg je een herkansing. Haal je de score van 100%, dan weet je dat je de basisstof beheerst.



De Oefentoets wordt pas zichtbaar nadat je een Test Jezelf hebt afgerond. De Oefentoets bestaat uit Test Jezelf opgaven. Met de Oefentoets kun je ook met een heel thema oefenen. Je kunt de Oefentoets zo vaak doen als je wilt.

FLITSKAARTEN



Met de flitskaarten kun je biologische begrippen leren op een leuke en interactieve manier. Hiermee kun je gemakkelijker een thema leren voor je proefwerk of examen.

VERSTERK JEZELF



De Versterk Jezelf helpt je om onderwerpen die je nog niet goed beheerst, te oefenen. Als je veel opgaven bij een bepaald onderwerp niet goed maakt, verschijnt er een uitnodiging op je scherm om de bijbehorende Versterk Jezelf te maken. Je kunt de Versterk Jezelf ook op een ander moment doen.

FILMPJES



Deze knop stuurt je door naar biologiefilmpjes.nl. Hier vind je filmpjes over biologische onderwerpen, gerangschikt per thema.

TOELICHTING BIJ CONTEXTEN

In dit boek staan veel contexten. Contexten verbinden de leerstof. Ook kun je met contexten ontdekken welke rol biologie speelt in het dagelijks leven, in beroepen en in de wetenschap. Bij contexten staan opdrachten die je helpen om de leerstof toe te passen in een nieuwe omgeving. Dit is een goede voorbereiding op het examen.

Sommige contexten staan in een opvallend oranje kader. Maar je zult ook zien dat veel opdrachten kleine contexten bevatten. In de contexten staat nooit nieuwe leerstof die je moet kennen voor het examen. Je hoeft contexten dus niet uit je hoofd te leren.

We wensen je veel plezier bij het werken met dit deel van *Biologie voor jou* en veel succes bij de voorbereiding op je examen.

De auteurs

Inhoud

THEMA 1

Stofwisseling in de cel

ONTDEKKEN

Honderd jaar hardlopen 8

BASISSTOF

- | | | |
|---|----------------------------------|----|
| 1 | Chemie in cellen | 10 |
| 2 | Enzymen | 14 |
| 3 | Fotosynthese | 19 |
| 4 | Voortgezette assimilatie | 22 |
| 5 | Dissimilatie | 29 |
| 6 | Intensiteit van de stofwisseling | 34 |

SAMENHANG

Koe neemt gas terug 38

VERRIJKINGSSTOFFEN

Stofwisseling bij sport	
Practicum: Brandstof voor gistcellen	
Leren en werken: Analist	

PRACTICA 40

AFSLUITING

Samenvatting	44
Flitskaarten	
Test Jezelf	

Examentrainer 46

THEMA 2

DNA

ONTDEKKEN

Waarom komt ouderdom met gebreken? 50

BASISSTOF

- | | | |
|---|----------------------------|----|
| 1 | De bouw en functie van DNA | 52 |
| 2 | DNA-replicatie | 58 |
| 3 | Eiwitsynthese | 63 |
| 4 | Genexpressie | 69 |
| 5 | Mutaties | 78 |
| 6 | Biotechnologie | 85 |

SAMENHANG

Gendoping 90

VERRIJKINGSSTOFFEN

Erfelijke ziekten en afwijkingen bij de mens	
Leren en werken	
Ideeën voor onderzoek	

PRACTICA 92

AFSLUITING

Samenvatting	93
Flitskaarten	
Test Jezelf	

Examentrainer 96

THEMA 3

Vertering**ONTDEKKEN**

Een gouden GREEP? 100

BASISSTOF

- | | | |
|---|-----------------------|-----|
| 1 | Voedingsstoffen | 102 |
| 2 | Het verteringsstelsel | 110 |
| 3 | Chemische vertering | 116 |
| 4 | Resorptie | 122 |
| 5 | Gezonde voeding | 126 |

SAMENHANG

Eten en gegeten worden 134

VERRIJKINGSSTOFFEN

Functionele voedingsmiddelen	
Leren en werken	
Ideeën voor onderzoek	

PRACTICA 136

AFSLUITING

Samenvatting	140
Flitskaarten	
Test Jezelf	

Examentrainer 144

BIOLOGIE OLYMPIADE OPDRACHTEN  146

REGISTER 149

COLOFON 151

1

Stofwisseling in de cel

Planten nemen via de bladeren en de wortels lichtenergie en grondstoffen op. Mensen moeten voedsel opnemen om in leven te blijven. In de stofwisseling zetten cellen de opgenomen stoffen en energie om in een bruikbare vorm.

ONTDEKKEN

Honderd jaar hardlopen 8

BASISSTOF

- | | | |
|---|----------------------------------|----|
| 1 | Chemie in cellen | 10 |
| 2 | Enzymen | 14 |
| 3 | Fotosynthese | 19 |
| 4 | Voortgezette assimilatie | 22 |
| 5 | Dissimilatie | 29 |
| 6 | Intensiteit van de stofwisseling | 34 |

SAMENHANG

Koe neemt gas terug 38

VERRIJKINGSSTOFFEN

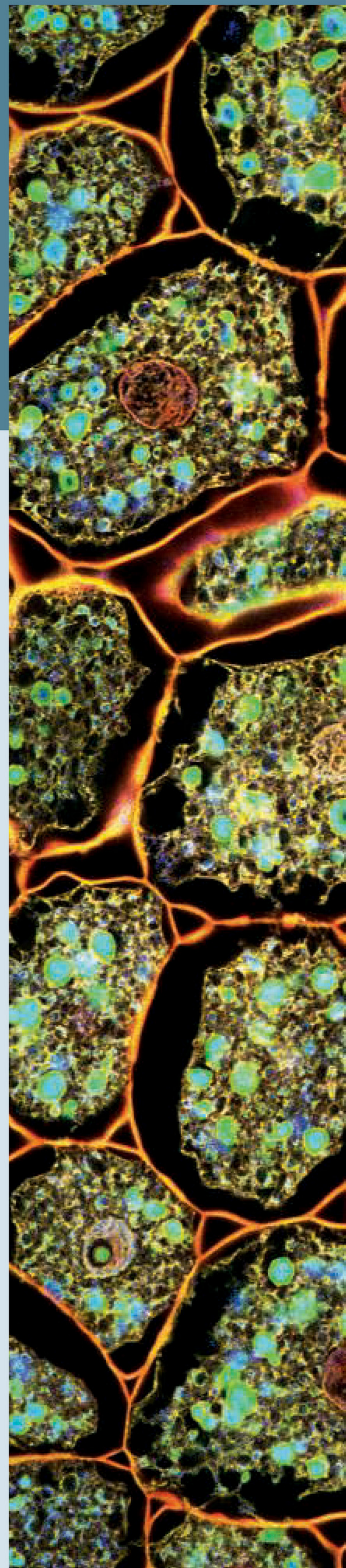
Stofwisseling bij sport	
Practicum: Brandstof voor gistcellen	
Leren en werken: Analist	

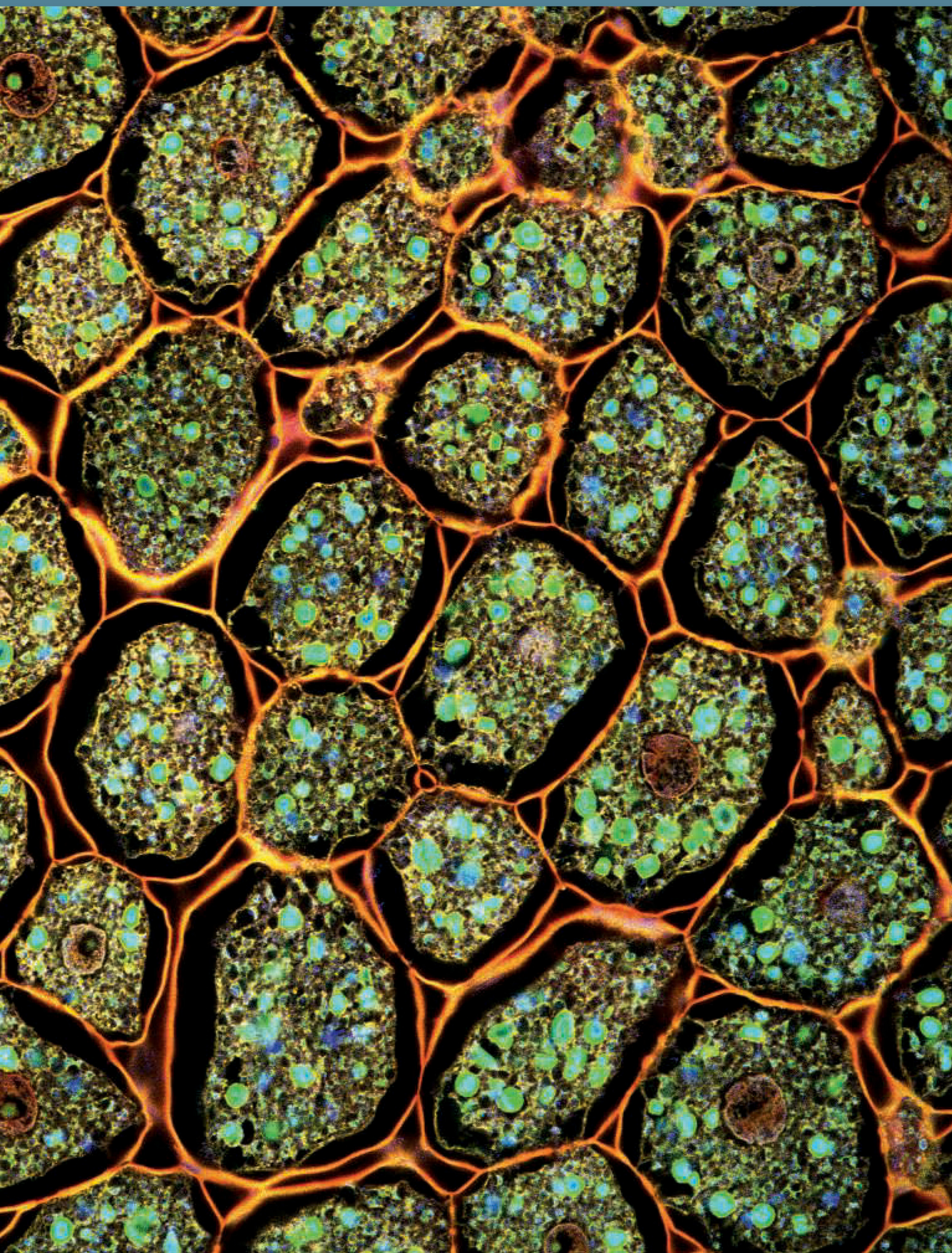
PRACTICA 40

AFSLUITING

Samenvatting	44
Flitskaarten	
Test Jezelf	

Examentrainer 46







Honderd jaar hardlopen

►► BASISSTOF 1

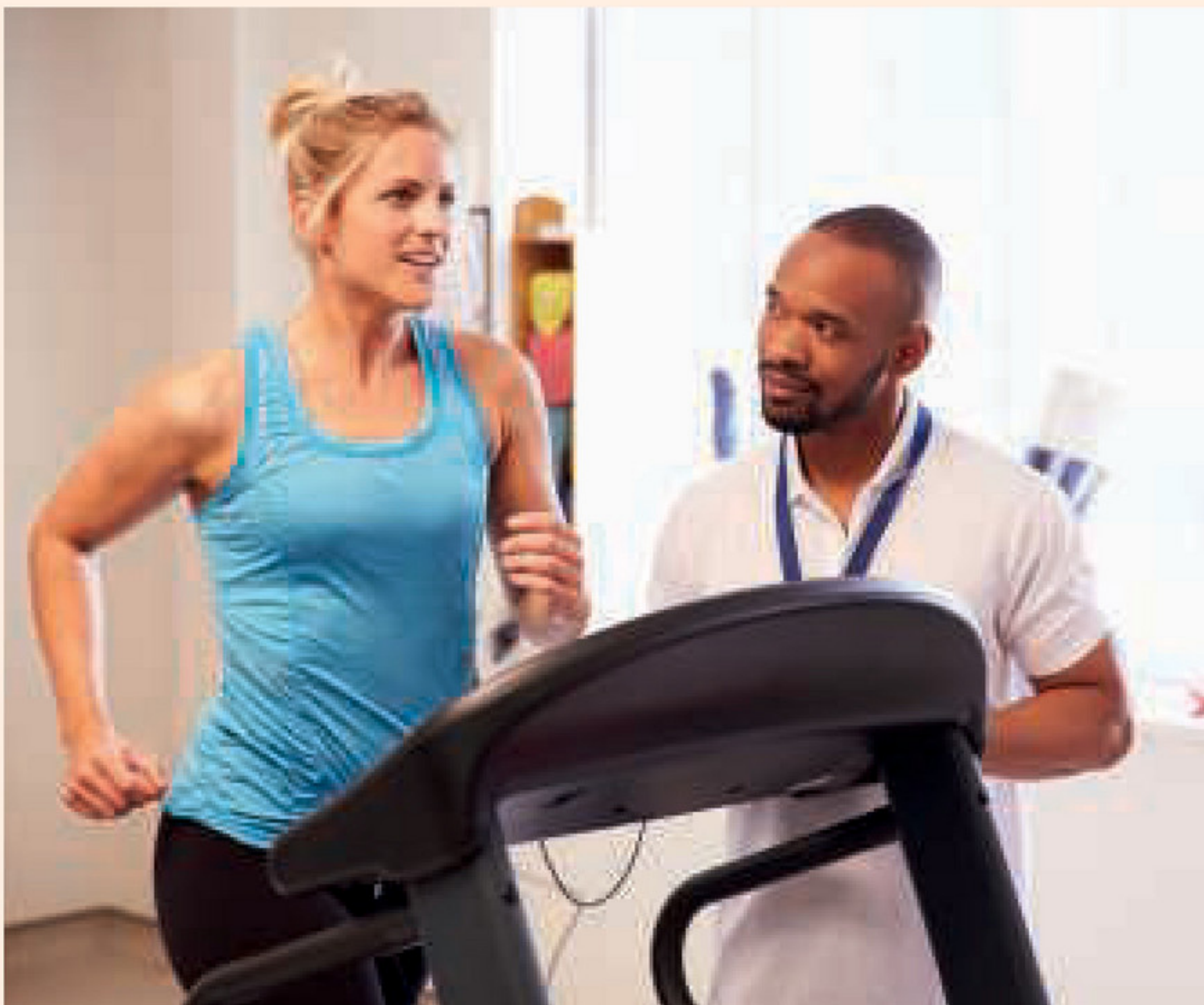
De eerste marathon in Amsterdam vond plaats in 1916. Louwe Huizinga uit Groningen werd eerste. Sinds 1975 is de Amsterdam Marathon een jaarlijks terugkerend evenement. De veertigste editie van 2015 telde meer dan 45 000 deelnemers. Zo'n 16 500 van hen gingen voor de officiële afstand van 42,195 km.

De oudst bekende langeafstandsliep in Nederland werd gehouden in 1893. Bij deze 'go as you please-race' van maar liefst 85 km mochten de deelnemers zelf kiezen of ze wilden hardlopen of wandelen. De eerste loper kwam na bijna negen uur over de finish. Inmiddels zijn er in Nederland ruim 2,4 miljoen hardlopers en meer dan dertig jaarlijkse marathons. De grootste is die van Rotterdam met 17 500 inschrijvingen en 12 798 finishers in 2016, op de voet gevolgd door Amsterdam waar in datzelfde jaar 12 181 lopers over de finish kwamen. Ook Eindhoven, Leiden, Utrecht en vele andere plaatsen in Nederland hebben een eigen marathon.

‘Duursporters hebben veel energie nodig.’

Een marathon loop je niet zomaar. Wie nog nooit heeft hardgelopen, mag best twee jaar uittrekken voor de voorbereiding. Ook moet je inzicht hebben in de werking van de energiesystemen van het lichaam. Duursporters, zoals marathonlopers, hebben veel energie nodig om hun intensieve inspanning gedurende lange tijd vol te houden. Het vrijmaken van die energie kan op verschillende manieren gebeuren, afhankelijk van de intensiteit en de duur van de inspanning. Marathonlopers gebruiken vooral het aerobe energiesysteem. Bij een wedstrijdmarathon bijvoorbeeld kunnen lopers hun hoge snelheid (20 km/h) meer dan twee uur volhouden doordat ze precies zó hard rennen dat de aerobe energievoorziening tot de grens wordt gebruikt – zonder over die grens heen te gaan. Dat lukt alleen door op de juiste manier te trainen.

▼ **Afb. 1** Trainen voor een marathon.



opdracht

Je bent werkzaam als fysiotherapeut in een sportschool. Enkele vaste bezoekers willen volgend jaar graag meedoen aan de Amsterdam Marathon. Ze hebben jou gevraagd hen te helpen bij hun training.

Je wilt de sporters graag helpen om de eindstreep te halen. Eerst ga je hen informeren over hoe in hun lichaam energie wordt vrijgemaakt en waar die energie vandaan komt. Omdat je weet dat er meer mensen in de sportschool trainen voor de marathon, besluit je hierover een algemene informatiefolder te maken. Je doet dit samen met twee collega's.

- 1 Maak een informatiefolder over de energievoorziening in het lichaam.

Stap 1 Inleiding

Geef puntsgewijs aan wat je gaat behandelen in de folder.

Stap 2 Informatie

Leg uit hoe energie in het lichaam wordt vrijgemaakt:

- Wat is het verschil tussen assimilatie en dissimilatie? Gebruik hierbij de begrippen 'organische stoffen' en 'anorganische stoffen'.
- Wat is chemische energie?
- Wat is ATP, hoe is ATP opgebouwd en wat is de functie?
- Waarom gaan de ademhalingsfrequentie en de hartslag tijdens hardlopen omhoog?

Aandachtspunten

- Bedenk dat de vormgeving (het uiterlijk van de folder) aantrekkelijk moet zijn.
- Maak een goede voorkant voor de folder.
- Zorg voor een of meer informatieve afbeeldingen.
- Maak de tekst niet te uitgebreid, want dan willen mensen het niet meer lezen.
- Vouw de folder op de juiste wijze.

Leerdoel

- Je kunt omschrijven wat stofwisseling, assimilatie en dissimilatie zijn en wat er bij deze reacties met de energie gebeurt.

1

Chemie in cellen

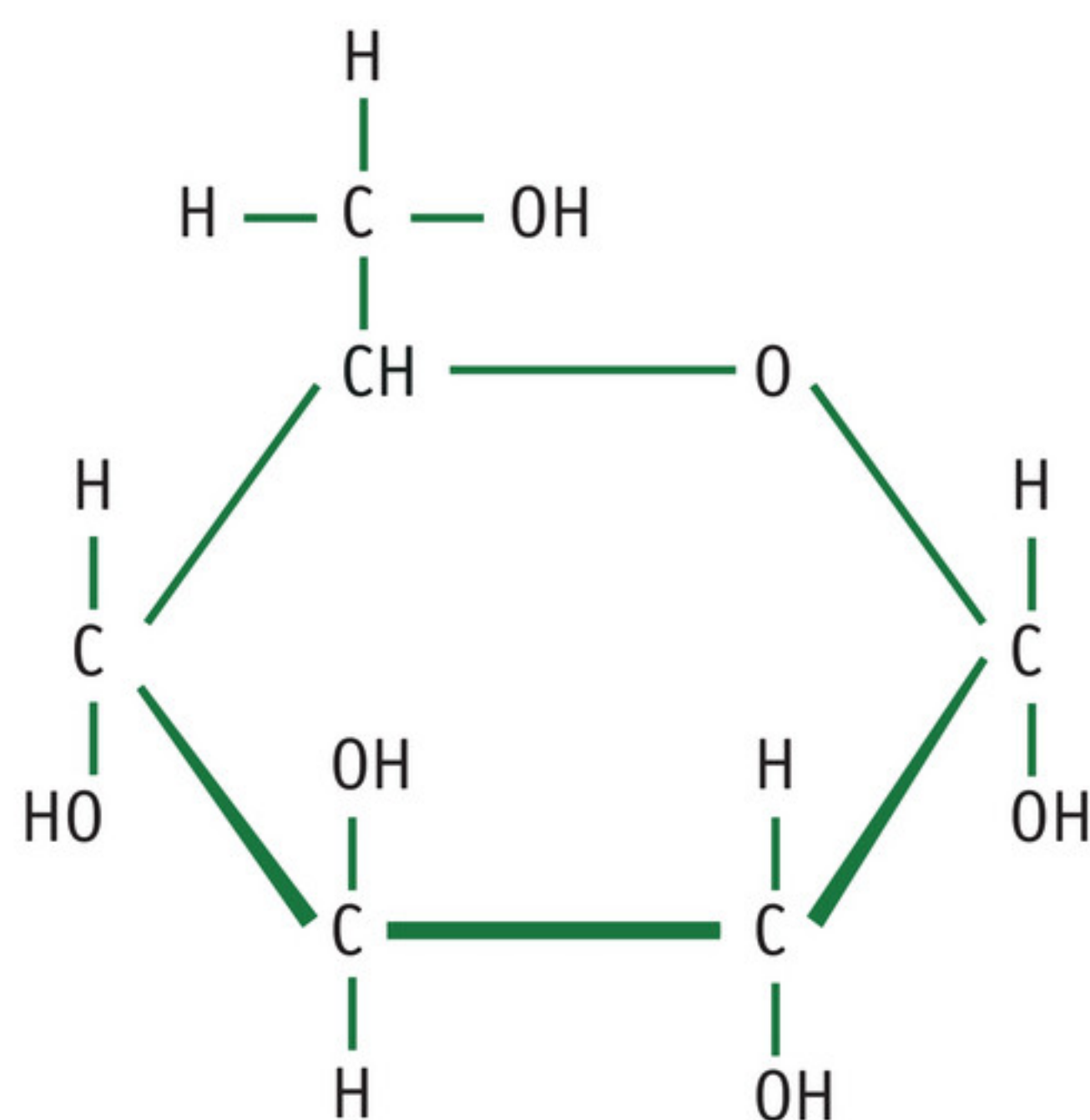
Je lichaam bestaat uit miljarden cellen. In elke cel bruist het dag en nacht van de chemische activiteit. Stoffen worden gevormd en afgebroken om de cel op te bouwen en te zorgen voor de broodnodige energie.

ENERGIERIJKE ORGANISCHE STOFFEN

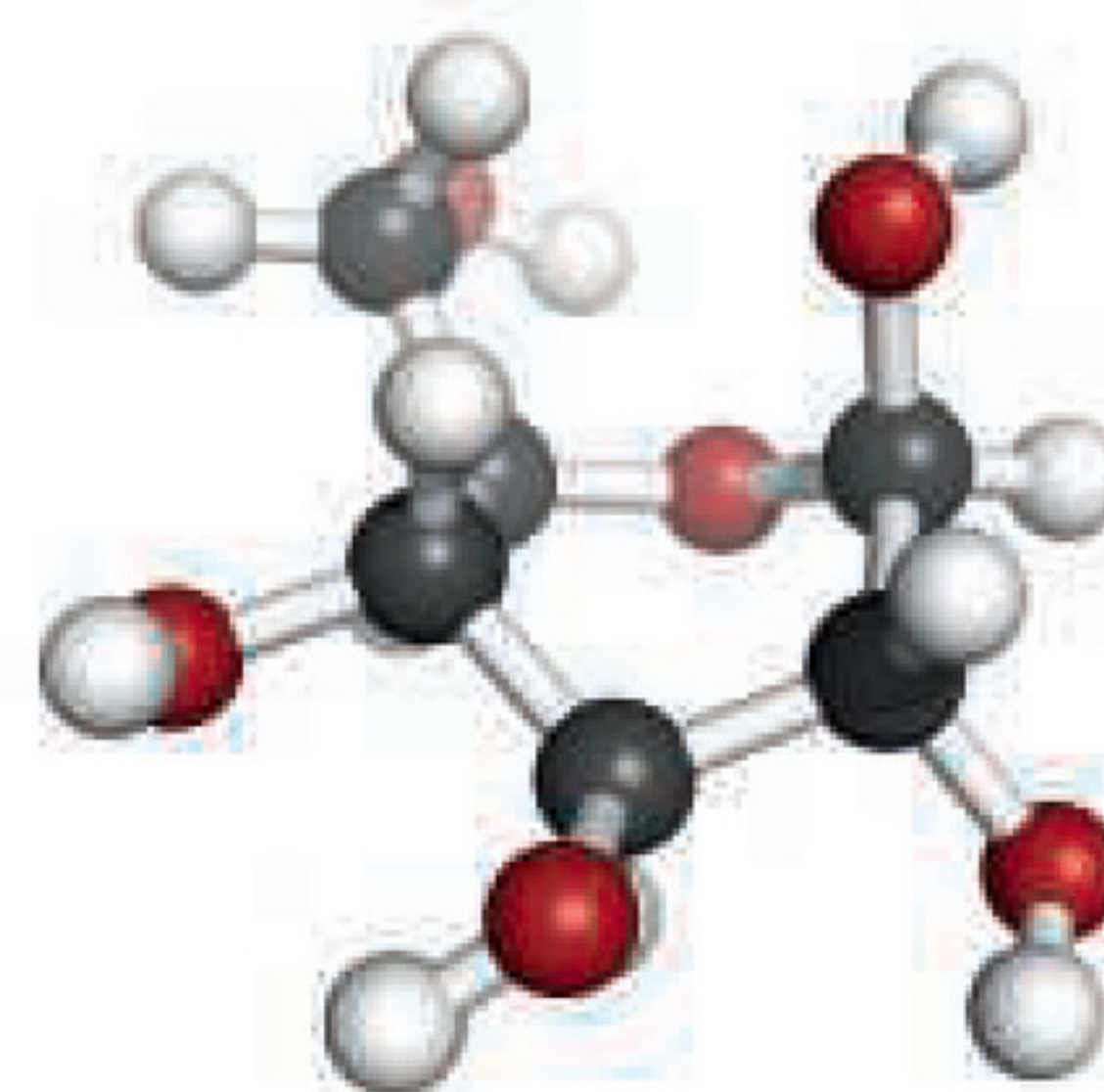
Het geheel van chemische omzettingsprocessen in een organisme is de **stofwisseling (metabolisme)**. Een groot deel van de stofwisseling vindt plaats in cellen. Levende cellen nemen stoffen op uit hun omgeving en zetten die stoffen om in andere stoffen. Die omzettingen zijn nodig voor de opbouw en instandhouding van de cel en voor de energievoorziening.

Organismen bestaan uit organische en anorganische stoffen. De moleculen van organische stoffen bevatten een of meer ketens van koolstofatomen. Deze koolstofketens kunnen enkele atomen lang zijn, maar kunnen ook duizenden koolstofatomen bevatten. Een organisch molecuul bevat naast het element koolstof (C) altijd het element waterstof (H) en meestal ook zuurstof (O). Om de bindingen tussen koolstof- en waterstofatomen tot stand te brengen, is energie nodig. Bij het verbreken van die C–H-bindingen komt de energie beschikbaar voor de cel. De energie die in de atoombindingen van energierijke stoffen is opgeslagen, wordt **chemische energie** genoemd. Anorganische stoffen bestaan uit kleine, eenvoudig gebouwde moleculen. Ze bevatten weinig chemische energie.

► **Afb. 1** Glucose.



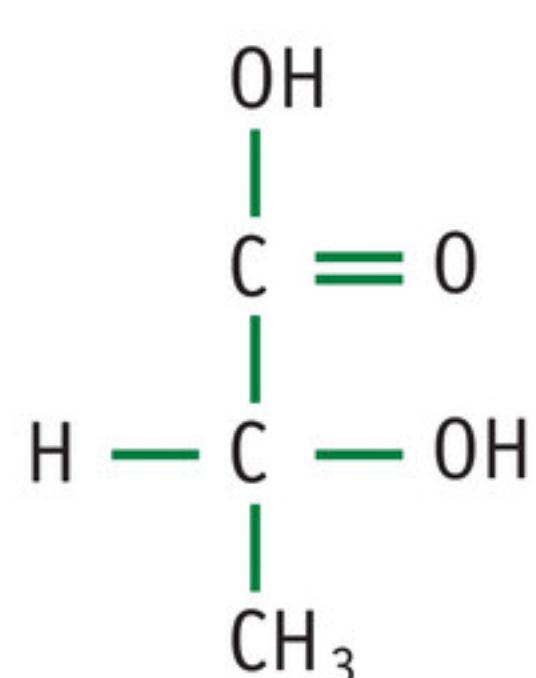
1 structuurformule



2 ruimtelijk model

De organische stof glucose is belangrijk voor de stofwisseling als brandstof en als bouwstof. De molecuulformule van glucose is $C_6H_{12}O_6$. In afbeelding 1 zijn de structuurformule en een ruimtelijk model van glucose weergegeven. In een structuurformule is aangegeven welke atomen aan elkaar zijn gebonden. Wanneer twee atomen door twee bindingen aan elkaar zijn gebonden, spreken we van een dubbele binding. Een voorbeeld is de binding tussen C en O in melkzuur (zie afbeelding 2).

▼ **Afb. 2** Een molecuul melkzuur met één dubbele binding.



ASSIMILATIE EN DISSIMILATIE

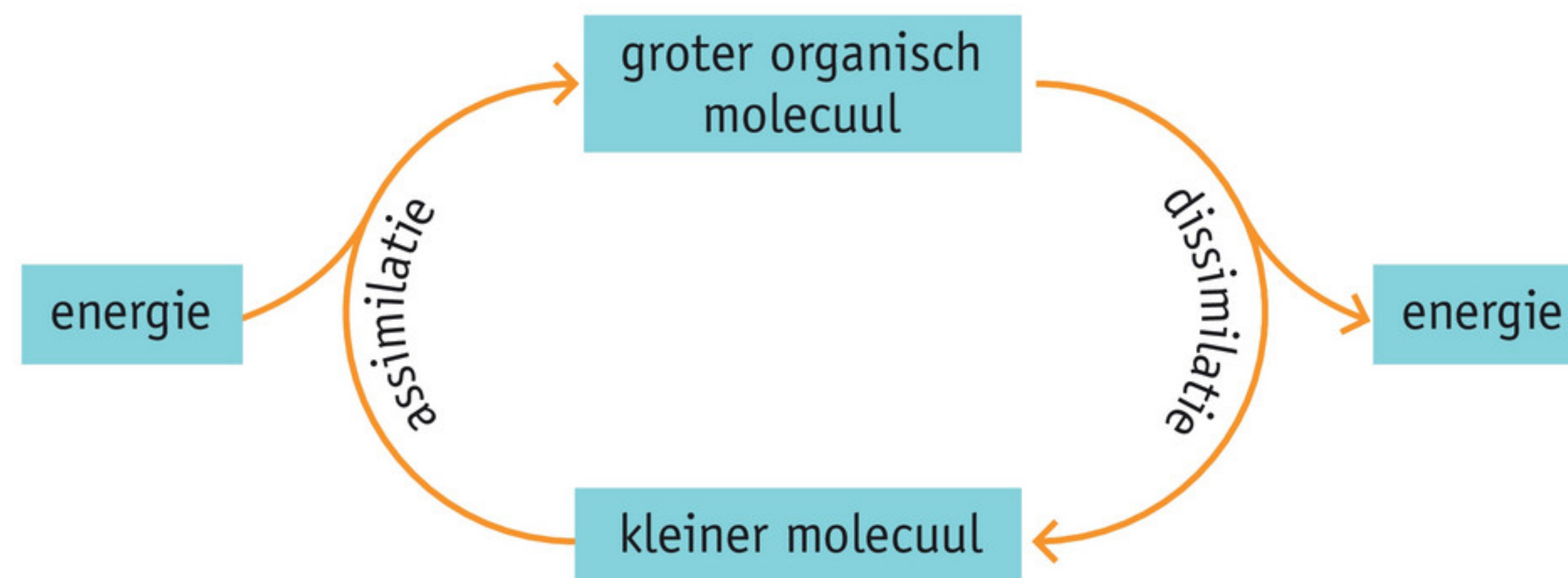
Stofwisselingsprocessen kun je indelen in assimilatie- en dissimilatieprocessen.

Assimilatie is de opbouw van organische moleculen uit kleinere moleculen.

Dissimilatie is de afbraak van grote organische moleculen tot kleinere moleculen.

Voor assimilatie is energie nodig, bij dissimilatie komt energie beschikbaar (zie afbeelding 3).

► **Afb. 3** Assimilatie en dissimilatie.

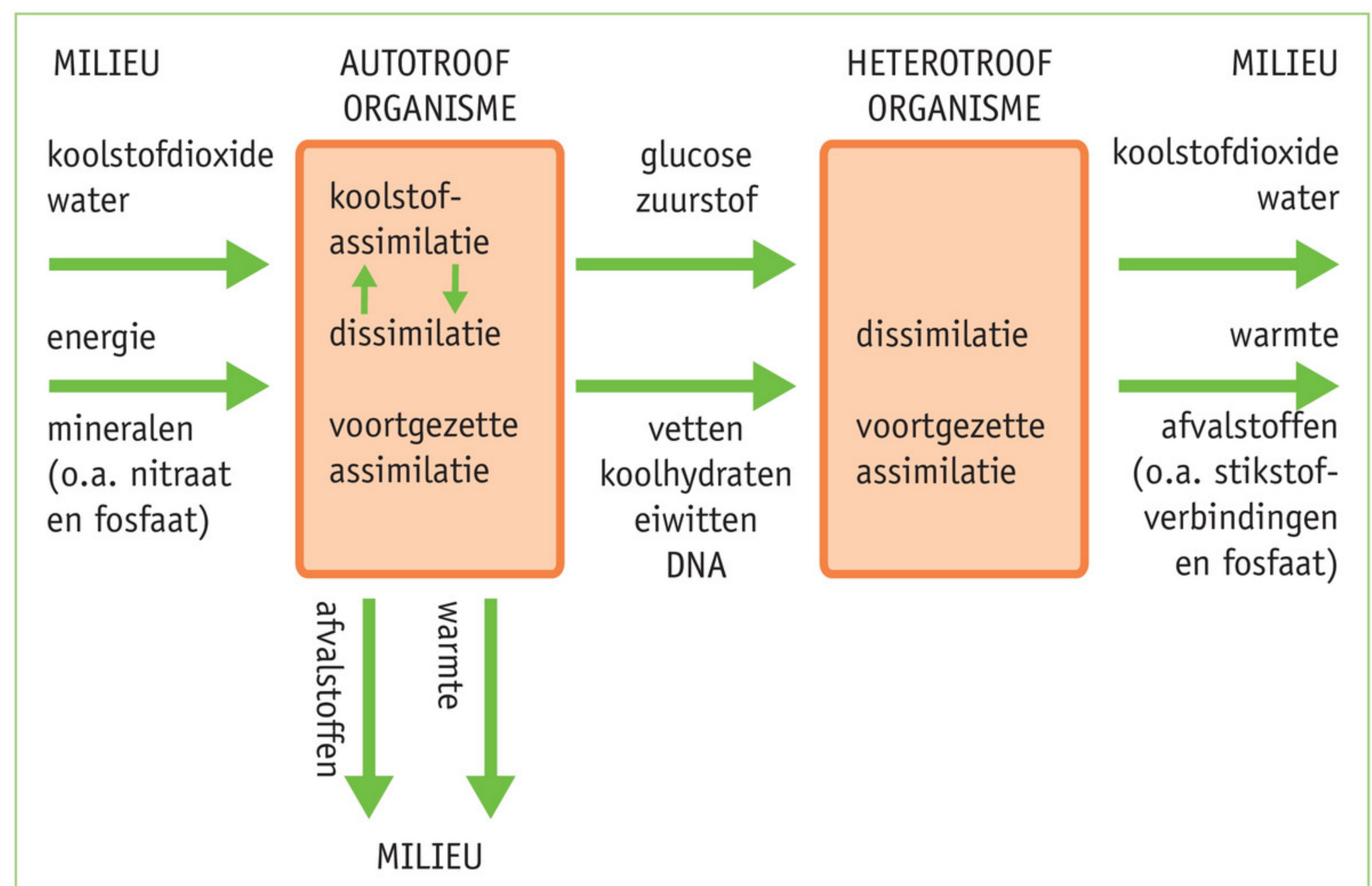


De vorming van glucose uit koolstofdioxide en water noem je **koolstofassimilatie**.

Alleen autotrofe organismen zijn in staat tot koolstofassimilatie. Bij de **fotosynthese** gebruiken planten en cyanobacteriën de energie uit licht voor de vorming van glucose. De organische stof glucose is vervolgens de grondstof voor andere koolhydraten, vetten, eiwitten en DNA. De vorming van deze stoffen uit glucose is de **voortgezette assimilatie**.

Bij voortgezette assimilatie ontstaan grote organische moleculen met energierijke bindingen. Door dissimilatie (verbranding) komt die energie beschikbaar voor celprocessen, zoals assimilatie of transport van stoffen. Voortgezette assimilatie en dissimilatie vinden plaats in autotrofe en in heterotrofe organismen (zie afbeelding 4).

► **Afb. 4** Stofwisseling in cellen.



opdrachten

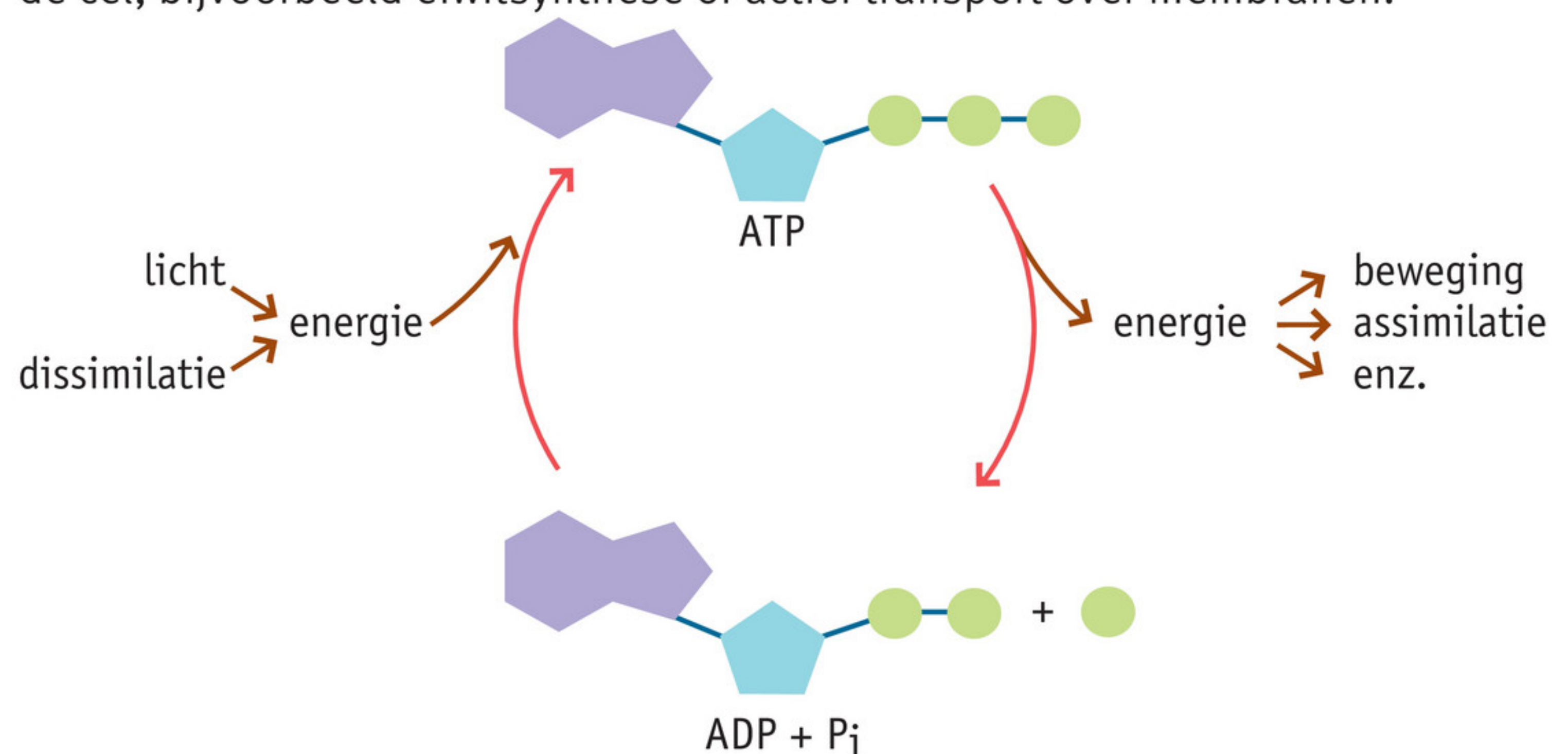
- 1
 - a Noteer drie verschillen tussen organische en anorganische stoffen.
 - b Wat is de functie van assimilatie? En van dissimilatie?
 - c Leg uit dat organismen die in staat zijn tot koolstofassimilatie, autotroof worden genoemd.
- 2 Bij de energieomzettingen in een individu wordt niet alle energie omgezet in chemische energie.
 - a Welke vorm van energie ontstaat naast de chemische energie?
 - b Is dit 'energieverlies'?
- 3 Wat gebeurt er met het gewicht van een individu waarbij in de cellen meer assimilatie plaatsvindt dan dissimilatie? Leg je antwoord uit.
- 4 In de urine van mensen komt ureum ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) voor. Uit welke soorten atomen bestaat een ureummolecuul?
- 5 Noteer welke van de volgende stoffen organisch zijn: cellulose – glucose – ijzer – kalk (calcium) – koolstofdioxide – palmolie (een vet) – pepsine (een eiwit) – stikstof – vitamine C – water – zetmeel – zuurstof. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 67F t/m 67I en tabel 99).

ENERGIETRANSPORT

Cellen delen, groeien en zorgen voor levensprocessen zoals beweging, transport en afscheiding van stoffen. Daarvoor hebben cellen energie nodig. Moleculen van de stof **ATP** (**adenosinetrifosfaat**) transporteren chemische energie naar plaatsen in de cel waar energie nodig is (zie afbeelding 5).

ATP bevat drie fosfaatgroepen. In de bindingen tussen de fosfaatgroepen is veel chemische energie vastgelegd. Wanneer de derde fosfaatgroep van ATP wordt afgesplitst, ontstaat **ADP** (**adenosinedifosfaat**). De energie die door de afsplitsing beschikbaar komt, wordt overgedragen aan stofwisselingsreacties en processen in de cel, bijvoorbeeld eiwitsynthese of actief transport over membranen.

► **Afb. 5** Energietransport met behulp van ATP.



Door binding van een fosfaatgroep aan ADP ontstaat energierijk ATP. ATP wordt gevormd in bladgroenkorrels bij de fotosynthese en in mitochondriën bij de verbranding. Daarbij worden lichtenergie of chemische energie uit glucose, die voor de cel onbruikbaar zijn, omgezet in de chemische energie van ATP.

opdracht

- 6 Bij assimilatie en dissimilatie worden vormen van energie omgezet in andere vormen.
- Welke energieomzetting vindt plaats bij fotosynthese?
 - Welke energieomzettingen vinden achtereenvolgens plaats als zonne-energie wordt gebruikt voor de vorming van een eiwit in een plant? Ga ervan uit dat de zonne-energie eerst wordt omgezet in glucose.
 - In welke organellen vinden deze energieomzettingen plaats?

CONTEXT

Leefwereld

Nachtlicht

▼ **Afb. 6** Zeevonk geeft licht in de branding.



Bij een zomerse nachtwandeling langs het strand kun je soms de branding spectaculair blauwachtig zien oplichten (zie afbeelding 6). Dit wordt veroorzaakt door zeevonk (*Noctiluca scintillans*, letterlijk: flitsend nachtlichtje). De eencellige zeevonk voedt zich met plankton door fagocytose (opnemen van voedingsstoffen via instulpen van het celmembraan). Het blauwe licht ontstaat als het pigment luciferine met behulp van een enzym (luciferase) wordt omgezet in oxyluciferine. Bij deze omzetting zijn zuurstof en ATP nodig. Het verschijnsel komt vooral voor als het water in beweging is.

Bioluminescentie komt veel voor bij diepzeedieren. Zij gebruiken het onder andere om prooi te lokken of om sekspartners te vinden. Een bekend voorbeeld is de diepzeehengelvis. Deze roofvis lokt prooi naar zijn bek met een soort hengel met aan het eind een bolletje lichtgevende bacteriën.

opdrachten

- 7 Zeevonk is heterotroof.
- Waaruit blijkt dat?
 - Waarvoor is bij de omzetting van luciferine in oxyluciferine ATP nodig?
- 8 De energie voor bioluminescentie is uiteindelijk afkomstig van de zon.
- Geef de energieomzettingen die plaatsvinden van zonlicht tot en met het licht van bioluminescentie.
 - Het blauw oplichten van de branding door zeevonk komt alleen in de zomer voor. Verklaar dat.
- 9 Bioluminescentie is in de evolutie minstens veertig keer onafhankelijk van elkaar ontstaan.
- Vooraf bij diepzeedieren komt bioluminescentie voor. Verklaar dat.
 - Leg uit hoe bioluminescentie bij zeevonk kan zijn ontstaan door een evolutionair proces.
- 10 Freek veronderstelt dat roofvissen hun prooi beter kunnen zien met behulp van het licht van de zeevonk. Hij beschikt over inktvissen, voldoende garnalen als prooi, zeevonk en twee grote aquariumbakken met zeewater.
- Beschrijf de proefopstelling waarmee Freek zijn hypothese kan testen.
 - Wanneer is de hypothese bevestigd?

Leerdoelen

- Je kunt de bouw en werking van enzymen beschrijven.
- Je kunt de invloed van milieufactoren op de enzymactiviteit beschrijven.

2 Enzymen

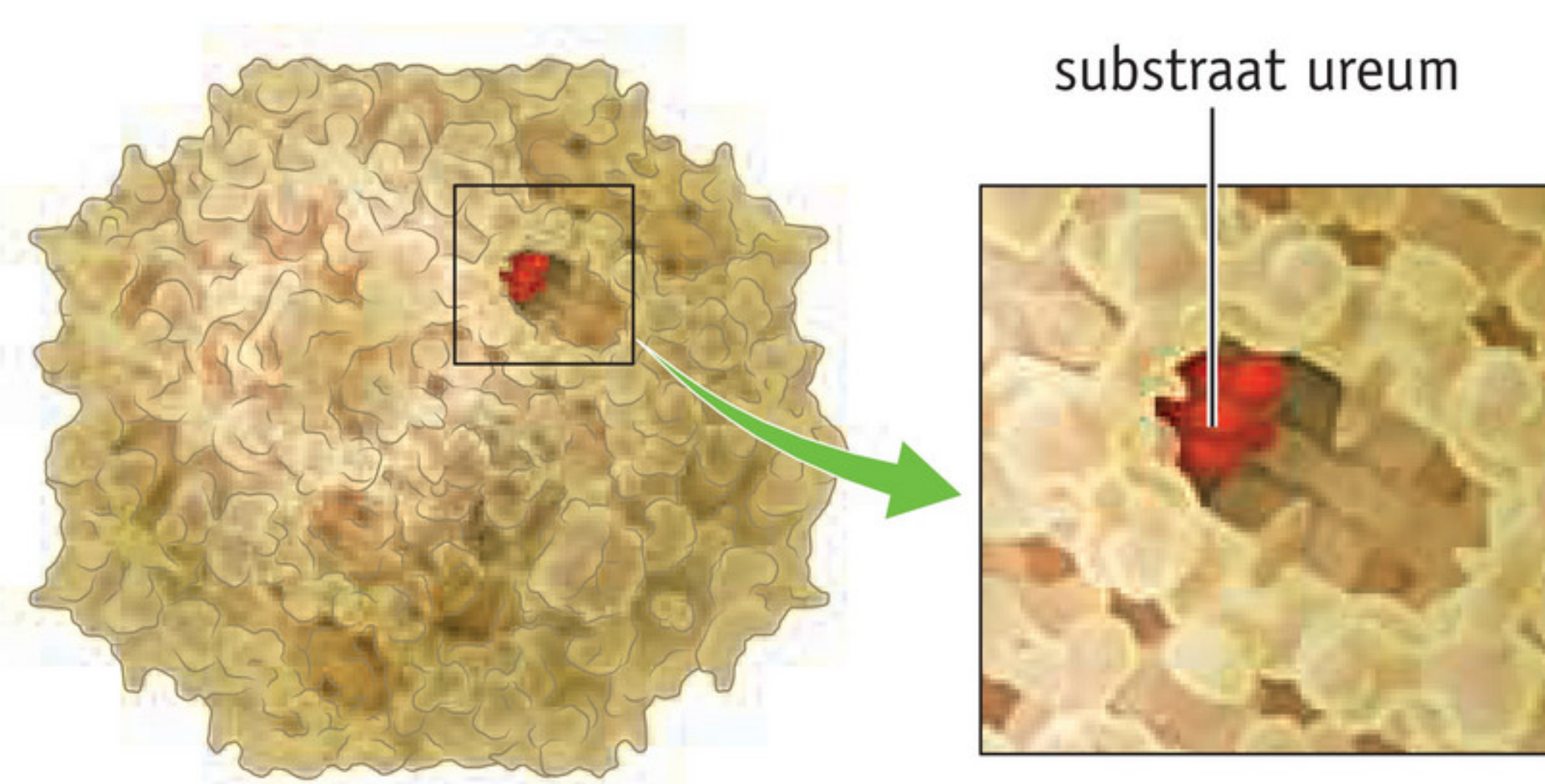
In cellen worden stoffen en energie omgezet. Elke omzetting vereist een eigen stukje gereedschap, een enzym, dat de omzetting vergemakkelijkt.

BOUW EN WERKING

In cellen worden voortdurend stoffen opgebouwd en afgebroken. Deze omzettingen verlopen meestal niet vanzelf of slechts zeer traag. **Enzymen** zijn eiwitten die chemische omzettingen katalyseren (mogelijk maken of versnellen). Daarbij worden de enzymen zelf niet verbruikt.

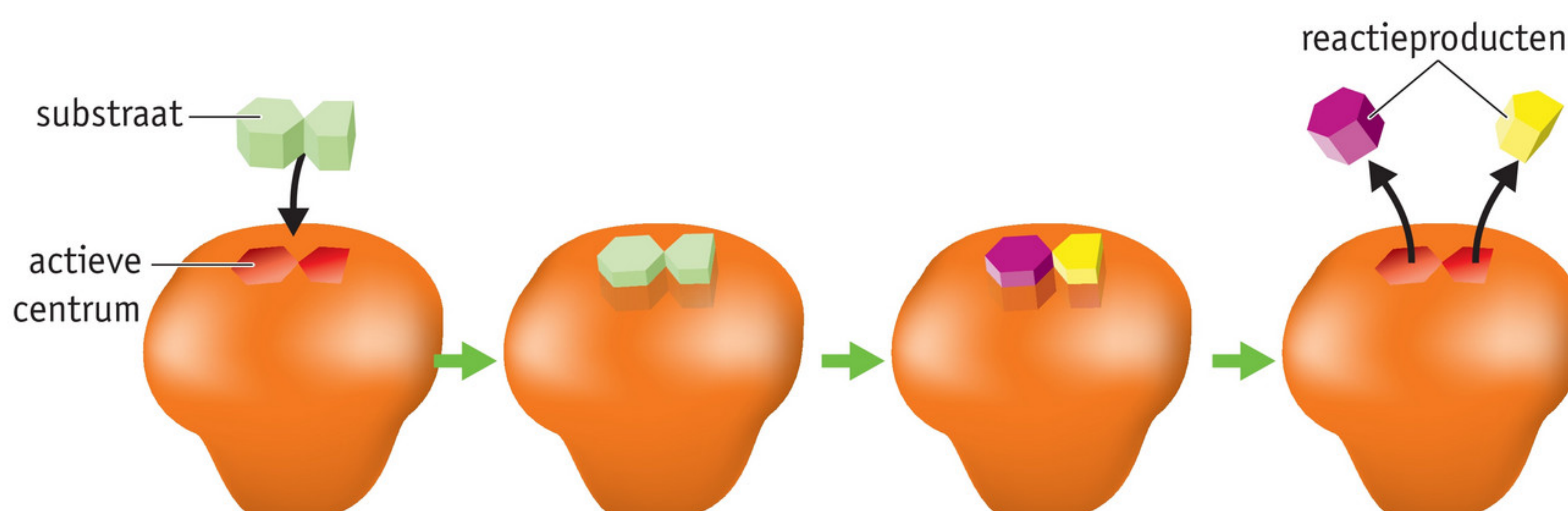
Een enzymmolecuul heeft een ruimtelijke vorm met veel knikken en lussen. Het deel van het molecuul waar de reactie plaatsvindt, heet het **actieve centrum**. Dit deel heeft een specifieke ruimtelijke structuur, waar het substraatmolecuul precies in past (zie afbeelding 7). Het **substraat** is de stof waarop een enzym inwerkt. Zodra een substraatmolecuul aan het actieve centrum bindt, vindt de reactie plaats.

- **Afb. 7** Deel van het enzymmolecuul urease met het actieve centrum.

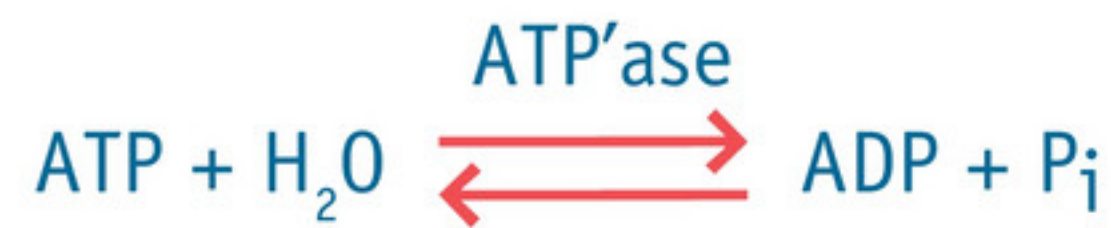


In het substraatmolecuul worden bindingen tussen atomen verbroken en komen bindingen tussen andere atomen tot stand. De stoffen die bij een reactie ontstaan, noem je de **reactieproducten** (zie afbeelding 8). Na de reactie laten de ontstane moleculen los van het actieve centrum en kan een volgende reactie plaatsvinden. Het enzymmolecuul is na de reactie niet veranderd en kan zich weer binden aan een volgend substraatmolecuul. Eén enzymmolecuul maakt dus vele malen dezelfde reactie mogelijk. Daardoor zijn enzymen al in kleine hoeveelheden werkzaam. Eén molecuul van het enzym urease bijvoorbeeld kan bij kamertemperatuur per seconde tienduizend ureummoleculen omzetten.

- **Afb. 8** De werking van een enzym.



▼ **Afb. 9** Enzymatische evenwichtsreactie met ATP'ase.



De naam van een enzym is vaak samengesteld uit de naam van het substraat en het achtervoegsel -ase. Het enzym ATP'ase bijvoorbeeld bewerkt het substraat ATP tot de reactieproducten ADP en fosfaat (zie afbeelding 9). Zoals veel enzymatische reacties kan deze reactie in twee richtingen verlopen. In de reactievergelijking wordt dit weergegeven met een dubbele pijl. De naam van het enzym wordt boven de pijl(en) gezet.

►► PRACTICUMOPDRACHT 1

opdrachten

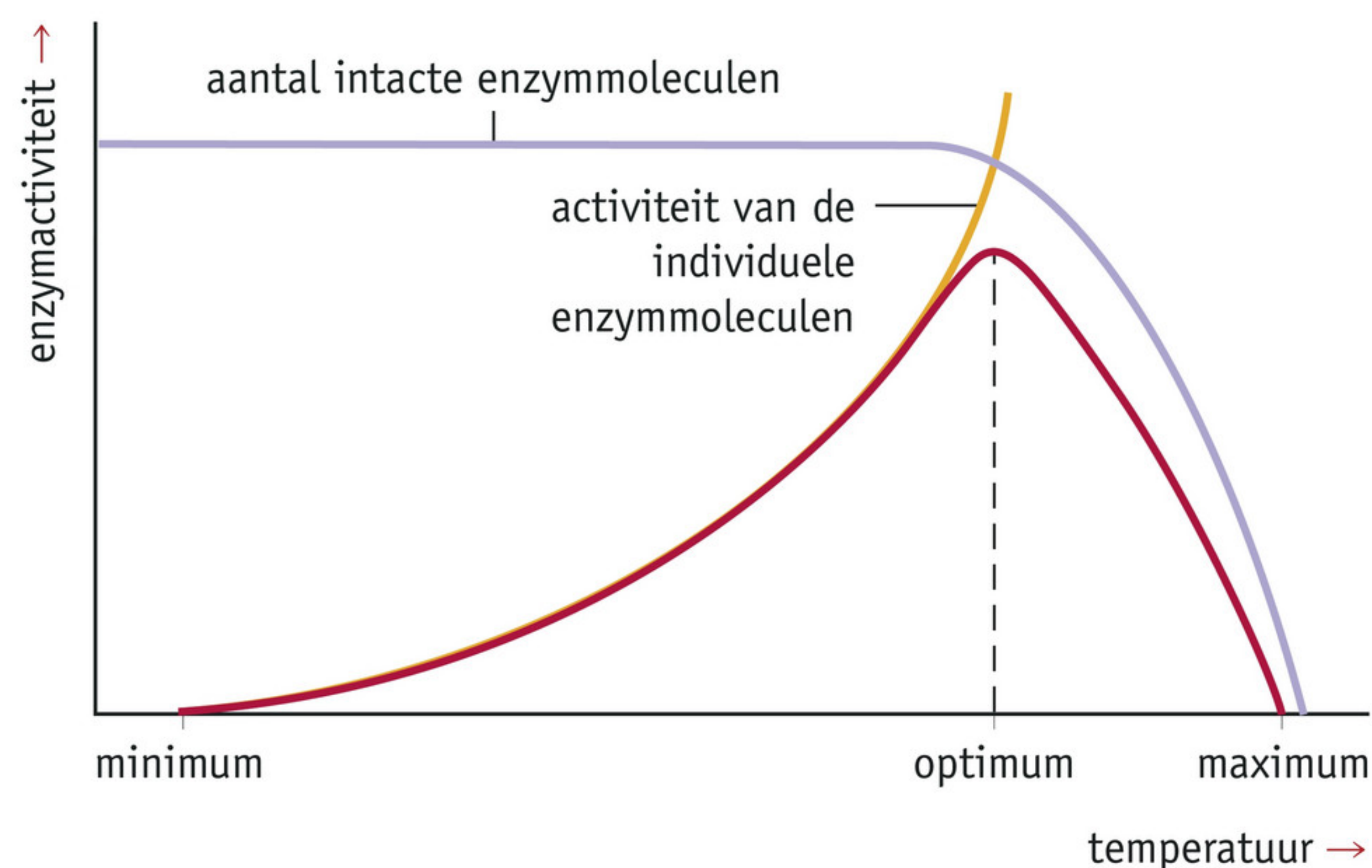
- 11 Elk enzym katalyseert een specifieke reactie.
 - a Hoe wordt de naam van een enzym gewoonlijk afgeleid?
 - b Leg uit waardoor in een cel een kleine hoeveelheid van een bepaald enzym voldoet.
 - c Bij de werking van enzymen geldt het sleutel-slotprincipe. Wat wordt hiermee bedoeld?
- 12 Een onderzoeker doet in een reageerbuis een sacharoseoplossing (suikerwater) en een sacharaseoplossing. Na enige tijd onderzoekt hij welke stoffen zich in de reageerbuis bevinden. Welk eiwit treft hij aan?
- 13 Enzymen worden ook wel biokatalysatoren genoemd. Leg dat uit.

INVLOED VAN DE TEMPERATUUR

De **enzymactiviteit** is de mate waarin een enzym een reactie versnelt. De enzymactiviteit kun je bepalen door te meten hoeveel substraat per tijdseenheid wordt omgezet. De enzymactiviteit wordt beïnvloed door de temperatuur en door de zuurgraad (pH).

In afbeelding 10 is het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit weergegeven. Onder de minimumtemperatuur is er geen enzymactiviteit. De beweging van de moleculen is dan te traag. Bij stijging van de temperatuur neemt de enzymactiviteit aanvankelijk toe, doordat bindingen tussen enzymmoleculen en substraatmoleculen gemakkelijker tot stand komen. Bij nóg verdere verhoging van de temperatuur gaan de moleculen zó heftig bewegen dat de ruimtelijke structuur van de enzymmoleculen verandert. Daardoor past het substraat niet meer in het actieve centrum.

► **Afb. 10** Het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit.



Hoe hoger de temperatuur, hoe minder intacte enzymmoleculen er overblijven. Boven de maximumtemperatuur hebben alle enzymmoleculen hun specifieke ruimtelijke structuur verloren. Dit proces is onomkeerbaar: de enzymmoleculen krijgen na afkoeling niet meer hun oorspronkelijke vorm terug. Je kunt het vergelijken met de eiwitten in een gekookt ei, die na afkoeling niet meer vloeibaar worden. Bij zoogdieren verliezen de meeste enzymen boven 40 °C hun werkzaamheid.

Het verband tussen de temperatuur en de enzymactiviteit is een optimumkromme. De temperatuur waarop het enzym actief wordt, is het minimum. Het optimum is de temperatuur waarbij de enzymactiviteit het grootst is. Het maximum is de temperatuur waarbij geen enzymactiviteit meer meetbaar is.

INVLOED VAN DE PH

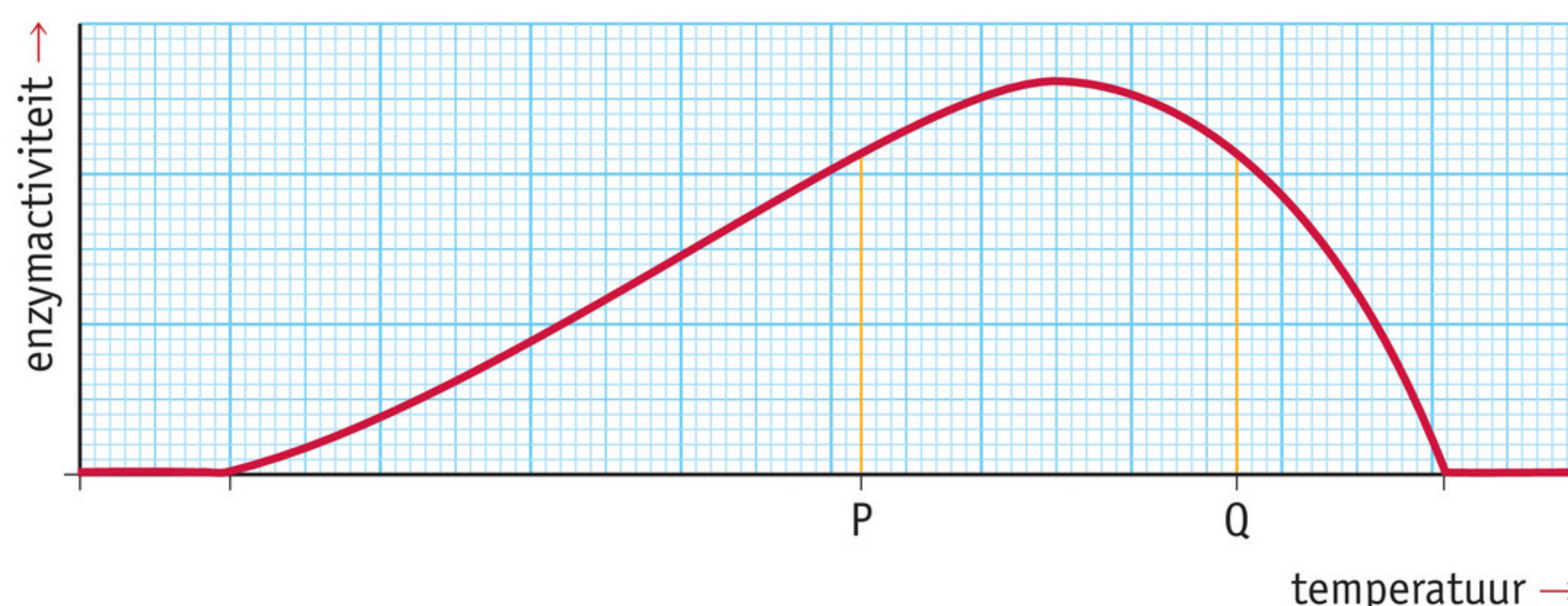
Een oplossing die veel waterstofionen (H^+) bevat, is zuur. De pH (zuurgraad) is dan lager dan 7. Een oplossing die weinig waterstofionen bevat, is basisch. De pH is dan hoger dan 7. De activiteit van een enzym is afhankelijk van de pH van de oplossing waarin de omzetting plaatsvindt. De ruimtelijke structuur van een enzymmolecuul blijft intact bij een bepaalde zuurgraad: het optimum. Bij verhoging of verlaging van de pH verandert bij steeds meer enzymmoleculen het actieve centrum, waardoor het enzym zijn werking verliest. Deze verandering is omkeerbaar: bij de optimale pH krijgt het enzym de passende structuur weer terug.

►► PRACTICUMOPDRACHT 2

opdrachten

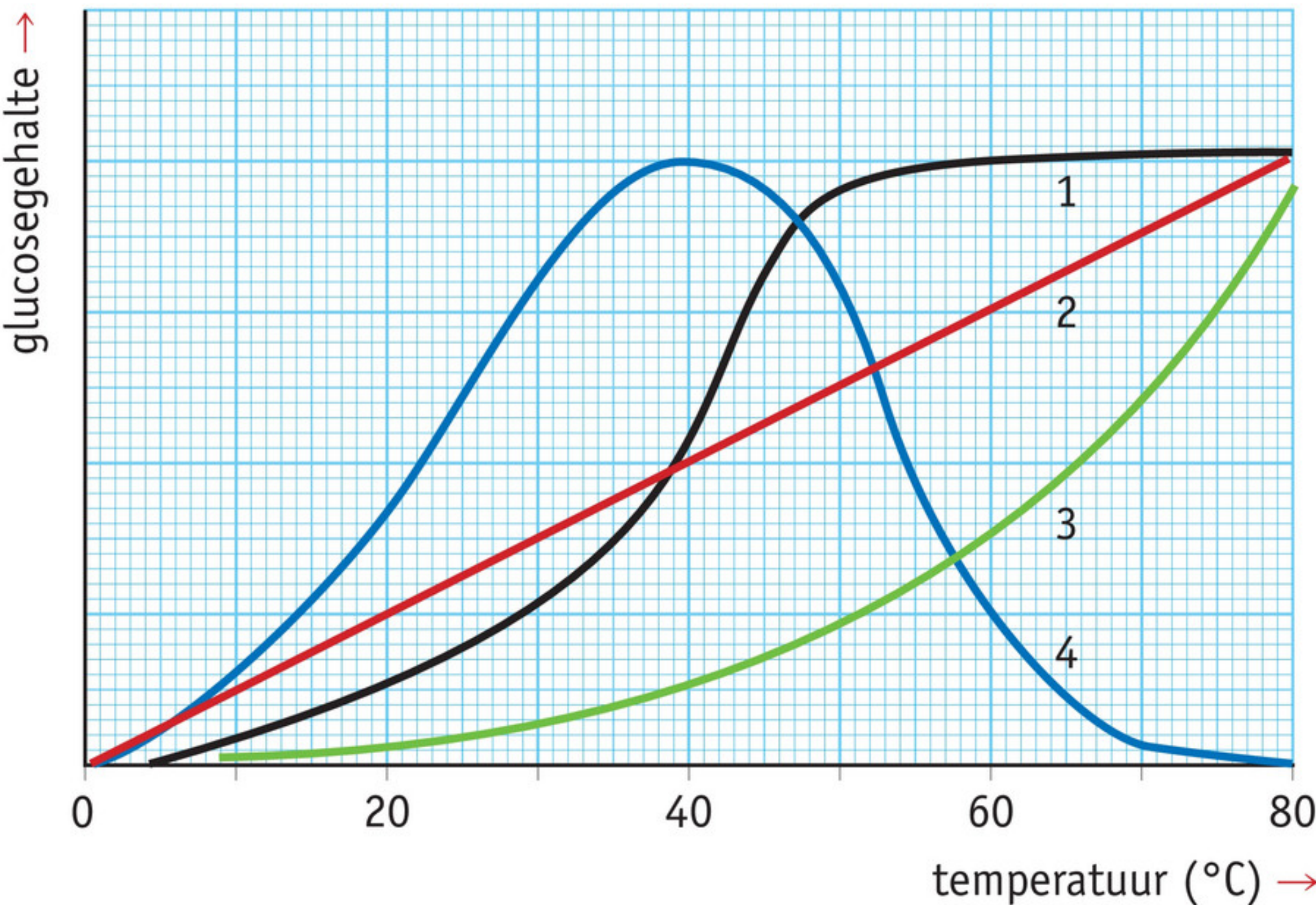
- 14** In afbeelding 11 is de optimumkromme van een bepaald enzym voor de temperatuur weergegeven.
- Bij temperatuur P wordt per tijdseenheid evenveel reactieproduct gevormd als bij temperatuur Q.
Bij welke van deze temperaturen zet een intact enzymmolecuul per minuut de grootste hoeveelheid substraat om? Leg je antwoord uit.
 - Een laborante wil een hoeveelheid van dit enzym bewaren. Ze beschikt over een ruimte met temperatuur P, een ruimte met temperatuur Q en een ruimte met de voor dit enzym optimale temperatuur.
In welke van deze drie ruimten kan ze het enzym het best bewaren om zo veel mogelijk intacte enzymmoleculen over te houden? Leg je antwoord uit.

► **Afb. 11** Optimumkromme van een bepaald enzym voor de temperatuur.



- 15 Aan een reageerbuis gevuld met een maltoseoplossing van 0 °C wordt maltase toegevoegd dat afkomstig is van een zoogdier. De optimumtemperatuur van maltase is ongeveer 40 °C. Onder invloed van maltase wordt maltose omgezet in glucose. De inhoud van de reageerbuis wordt al roerend langzaam verwarmd tot 80 °C. Welke grafiek in afbeelding 12 kan aangeven hoe het totale glucosegehalte in de buis verandert? Leg je antwoord uit.

► Afb. 12 Glucosegehalte.



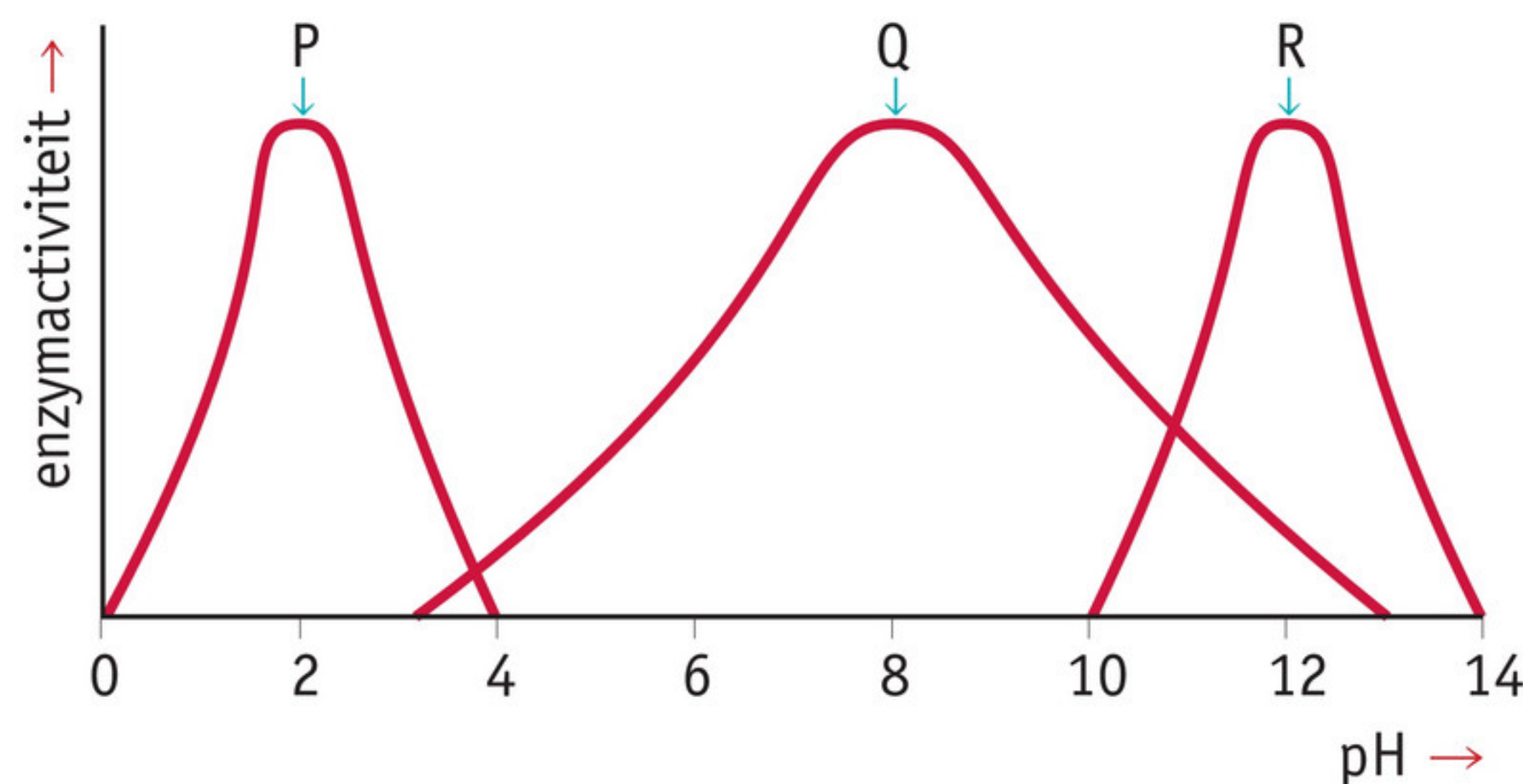
- 16 Biologische wasmiddelen bevatten enzymen.
- a Leg uit waarom bij het gebruik van deze wasmiddelen de temperatuur niet te hoog mag zijn.
 - b Waardoor kan een kikker 's winters buiten niet actief zijn en een merel wel?
 - c Waarom is koorts boven de 40 °C zo gevaarlijk voor mensen?
- 17 In afbeelding 13 zie je een onderzoek naar de werking van katalase bij verschillende temperaturen.
- a Welke conclusie kun je trekken uit het onderzoek van afbeelding 13?
 - b Is het onderzoek voldoende betrouwbaar om deze conclusie te trekken?
 - c Hoe kunnen de metingen betrouwbaarder worden?
 - d Welke aanpassing kun je doen om dit onderzoek (meer) valide te maken?

▼ Afb. 13

ONDERZOEK		DE INVLOED VAN DE TEMPERATUUR OP DE WERKING VAN KATALASE
Inleiding	Katalase is een enzym dat waterstofperoxide omzet in water en zuurstofgas. Het komt voor in alle levende dierlijke en plantaardige cellen.	
Onderzoeksvraag	Wat is de invloed van de temperatuur op de werking van katalase?	
Hypothese	Katalase werkt het best bij lichaamstemperatuur (37 °C).	
Experiment	– Zes reageerbuizen worden genummerd van 1 tot en met 6. In buis 1 tot en met 3 worden drie stukjes aardappel gedaan. In buis 4 tot en met 6 wordt 5 mL waterstofperoxideoplossing gedaan. – Buis 1 en 4 worden in het bekerglas met smeltende ijsblokjes gezet, buis 2 en 5 in een waterbad van 37 °C en buis 3 en 6 in een waterbad van 70 °C. De buizen blijven daar vijf minuten staan. – Na vijf minuten wordt het waterstofperoxide bij de stukjes aardappel gegoten. Daarna blijven de buizen weer vijf minuten staan bij de verschillende temperaturen. – De hoogte van het gevormde schuim in de reageerbuizen wordt gemeten.	
Resultaat	In buis 2 ontstaat het meeste schuim.	
Conclusie		

- 18 In afbeelding 14 is het verband tussen de pH en de enzymactiviteit van drie verschillende enzymen weergegeven.
- Wat is de maximum-pH van enzym Q?
 - De zuurgraad van de omgeving daalt tot pH 5 en stijgt daarna weer tot pH 2. Is enzym P dan nog werkzaam? Leg je antwoord uit.

► **Afb. 14** Het verband tussen de pH en de activiteit van enzym P, Q en R.



CONTEXT

Leefwereld

Helende honing

Honing is het ingedikte mengsel van plantennectar en verteringssappen van de honingbij. Honing stimuleert het immuunsysteem en is werkzaam tegen infecties bij brandwonden. Sommige mensen gebruiken het als gezichtsmasker (zie afbeelding 15). Honing heeft een remmend effect op de groei van wel zestig soorten bacteriën. Honing van de manukaboom (*Leptospermum scoparium*) blijkt zelfs remmend te werken op de methicillineresistente *Staphylococcus aureus* (de bekende, gevaarlijke MRSA-bacterie). De antibacteriële eigenschappen van honing worden toegeschreven aan de hoge osmotische waarde, de lage pH en vooral het gehalte aan waterstofperoxide. Dit wordt bepaald door de verhouding tussen het enzym glucoseoxidase, dat de bij uitscheidt, en katalase, afkomstig van plantenstuifmeel. Glucoseoxidase zet glucose om in gluconzuur en waterstofperoxide. Het gluconzuur creëert een zuur milieu en het waterstofperoxide werkt desinfecterend, waardoor de honing en ook de bijenkast bacterie- en schimmelvrij blijven. De peroxideactiviteit van honing kan teniet worden gedaan door verhitting of door katalase. De antibacteriële werking van verschillende honingsoorten kan hierdoor wel tot een factor 100 verschillen. Dus voordat je bij een infectie de honingvoorraad van de buurtsuper naar binnen slurpt: die huis-tuin-en-keukenhoning is niet bedrijfszeker als medicijn. Die is vooral lekker in de thee.

▼ **Afb. 15** Gezichtsmasker met honing.



Bronnen: Tahereh Eteraf-Oskouei & Moslem Najafi, *Traditional and Modern Uses of Natural Honey in Human Diseases* (2013) en Manisha Deb Mandal & Shyamapada Mandal, *Honey: its medicinal property and antibacterial activity* (2011).

opdrachten

- Honing heeft een hoge osmotische waarde.
 - Waardoor is de osmotische waarde van honing zo hoog?
 - Verklaar de antibacteriële werking van de hoge osmotische waarde van de honing.
 - Verklaar de brede werking van medicinale honing tegen verschillende bacteriesoorten.
- Verhitting en katalase gaan de peroxideactiviteit van honing tegen. Leg dat uit.
- Waardoor is de werking van natuurlijke honing onvoorspelbaar?



► OLYMPIADE OPDRACHT 1

Leerdoel

- Je kunt de fotosynthese beschrijven.

3 Fotosynthese

Planten hebben een soort zonnepaneeltjes om zonne-energie vast te leggen in suikermoleculen. Behalve suikers maken planten allerlei stoffen die voor ons als voedsel kunnen dienen. Wij lopen dus eigenlijk op zonne-energie.

ENERGIE

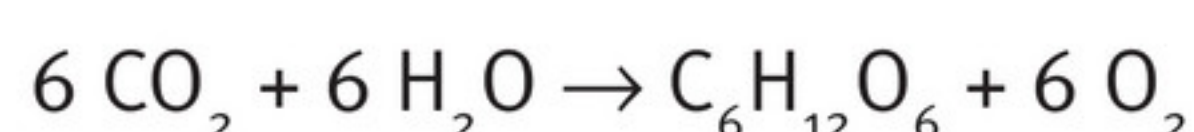
Planten, algen en sommige cyanobacteriën bevatten het pigment **bladgroen**. Daarmee zijn ze in staat om de energie uit licht om te zetten in de chemische energie van glucose. Bij planten bevindt het bladgroen zich in de **bladgroenkorrels** (zie afbeelding 16). Behalve bladgroen bevatten bladgroenkorrels ook enzymen die nodig zijn bij de fotosynthese.

Bladgroen kan energie uit licht absorberen (opnemen). De opgenomen lichtenergie wordt in de fotosynthese gebruikt om ATP te vormen en om water te splitsen in waterstof en zuurstof. De zuurstof wordt (deels) afgegeven aan de lucht. De waterstof en de chemische energie uit ATP worden, samen met koolstofdioxide, gebruikt voor de vorming van glucose.

Het reactieschema voor de fotosynthese is:

koolstofdioxide + water + lichtenenergie → glucose + zuurstof

Fotosynthese kun je scheikundig weergeven met een reactievergelijking:

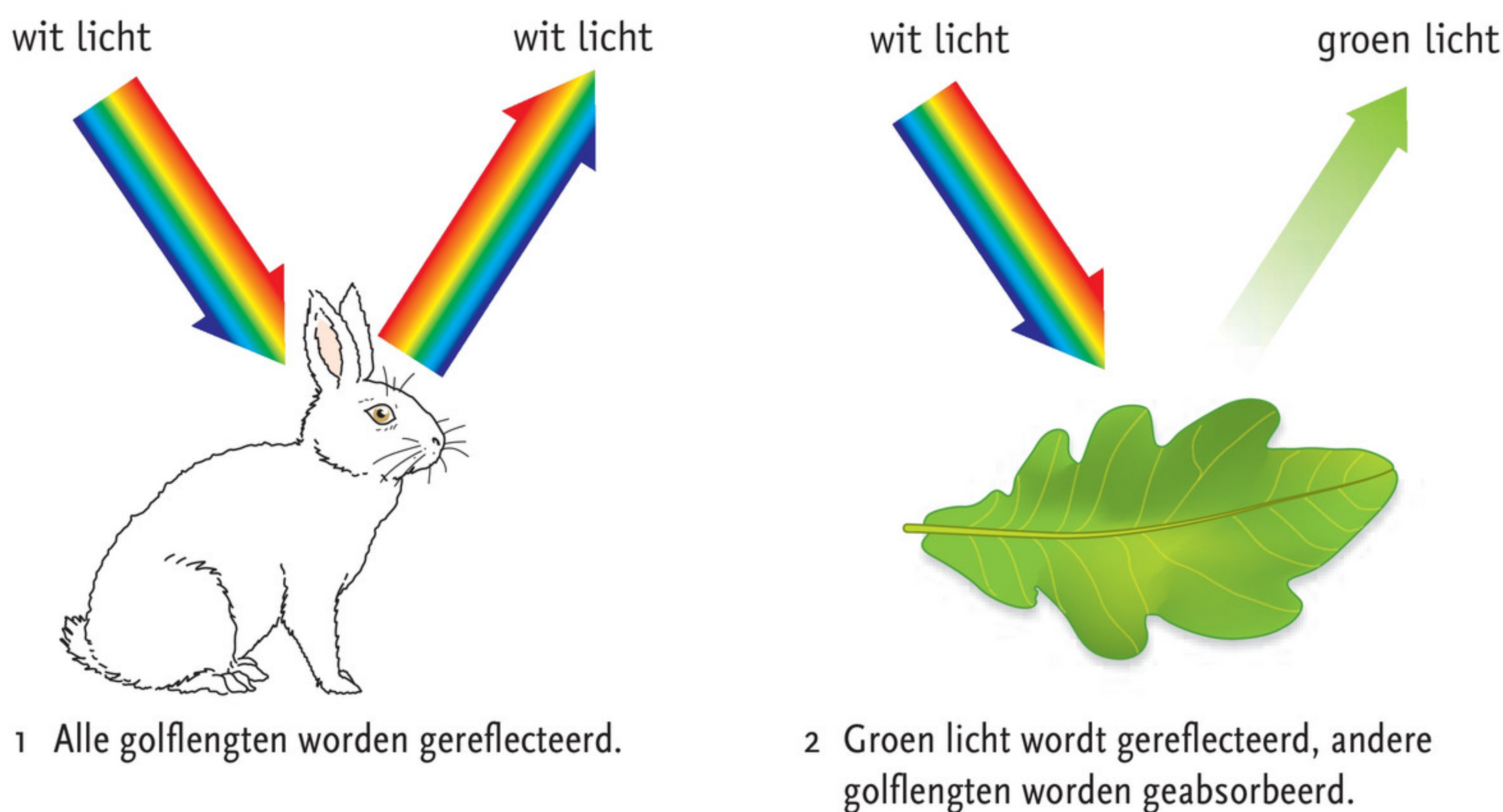


► PRACTICUMOPDRACHT 3

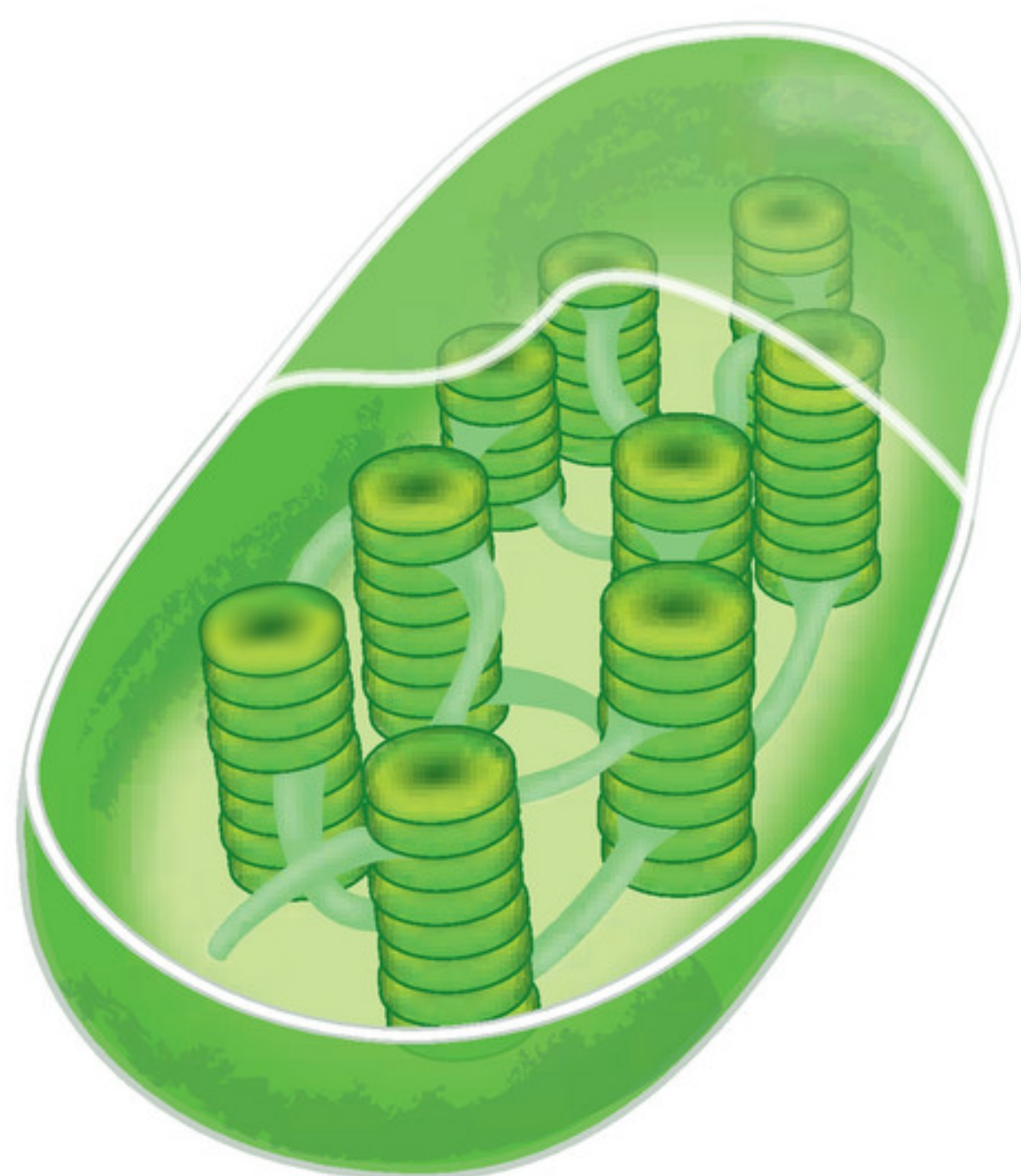
LICHT

Zonlicht of wit licht is een mengsel van alle kleuren licht (zie afbeelding 17). Een konijn met een vacht die alle kleuren reflecteert (terugkaatst), zien wij als wit.

► **Afb. 17** Absorptie en reflectie van licht.

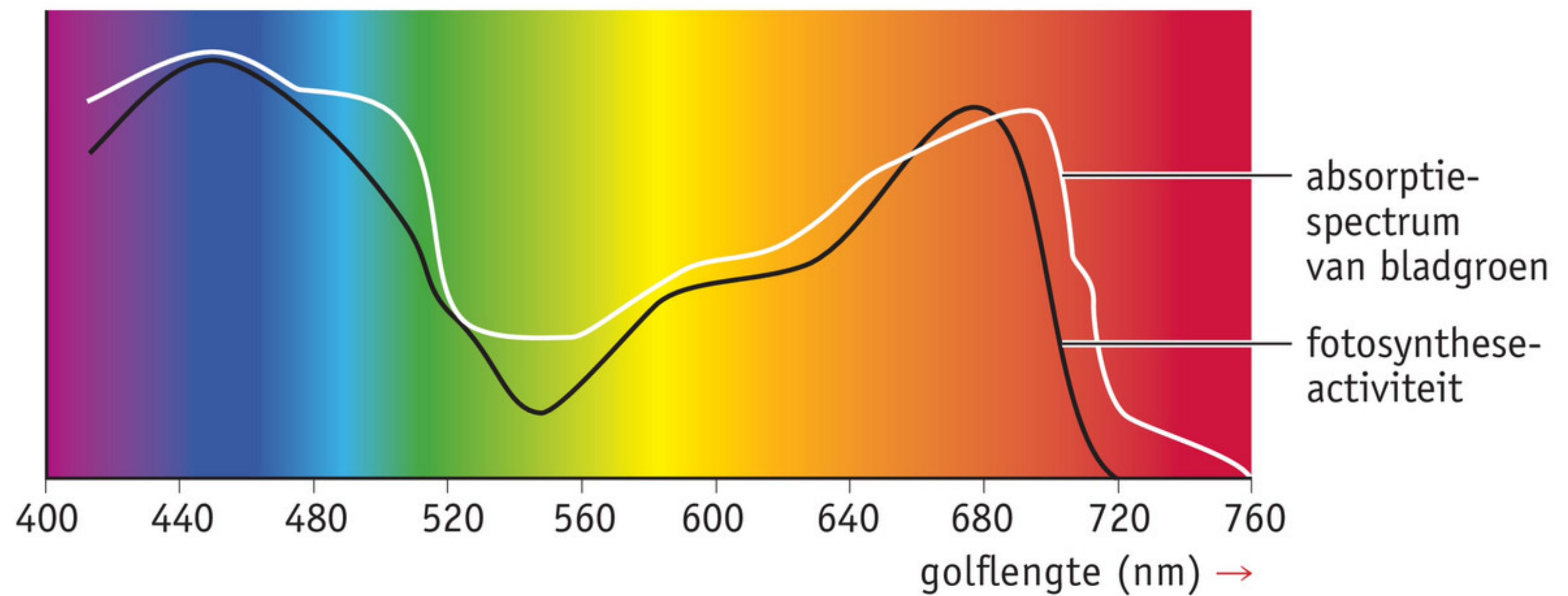


▼ **Afb. 16** Een bladgroenkorrel.



Als je licht met alle golflengten door een oplossing van bladgroen leidt, kun je bepalen welke golflengten licht het bladgroen absorbeert. Er ontstaat een absorptiespectrum (zie afbeelding 18). Daaraan kun je zien dat bladgroen bijna geen groen licht absorbeert. Het meeste groene licht wordt gereflecteerd. Daarom hebben planten voor ons een groene kleur.

► **Afb. 18** Absorptiespectrum van bladgroen en de fotosyntheseactiviteit bij verschillende golflengten.



opdrachten

- 22** In afbeelding 18 zie je het absorptiespectrum van bladgroen en de fotosyntheseactiviteit bij verschillende golflengten.
- Welke kleur licht wordt nauwelijks geabsorbeerd door bladgroen?
 - Bij welke twee golflengten liggen de pieken in het absorptiespectrum van bladgroen?
 - Bij welke twee golflengten liggen de pieken van de fotosyntheseactiviteit?
 - Leg het verband uit tussen het absorptiespectrum en de naam 'bladgroen'.
 - Uit afbeelding 17 blijkt dat bladgroen licht met verschillende golflengten absorbeert. Wat is daarvan het voordeel voor een plant?
- 23** Naast bladgroen bevatten bladgroenkorrels ook caroteen, een pigment met een gele tot rode kleur. Welke stof wordt in de herfst in de bladeren het eerst afgebroken: bladgroen of caroteen? Leg je antwoord uit.
- 24** Drie potten bevatten water en een tak waterpest. Pot 1 staat onder een oranje lamp, pot 2 onder een violette lamp en pot 3 onder een groene lamp.
- In welke pot is de fotosyntheseactiviteit het hoogst? Leg je antwoord uit.
 - In welke pot verbruikt de tak waterpest de kleinste hoeveelheid koolstofdioxide? Leg je antwoord uit.
 - In welke pot zullen de meeste gasbelletjes verschijnen? Leg je antwoord uit.

CONTEXT

Wetenschap

▼ **Afb. 19** Zonnebrandstof heeft de toekomst.



Zon in je tank

In het Nederlandse project BioSolar Cells werken onderzoekers aan kunstmatige bladeren die een duurzame ‘zonnebrandstof’ kunnen opleveren. Net als echte planten moeten deze bladeren brandstof gaan maken uit niet meer dan zonlicht, water en CO_2 .

De kunstmatige bladeren gebruiken energie uit zonlicht om water te splitsen in zuurstof en waterstof. Waterstofgas is een energierijke, schone brandstof. In zonrijke gebieden is het oppervlak van het dak van een garage met kunstmatige bladeren ongeveer genoeg om een waterstofauto van brandstof te voorzien (zie afbeelding 19). Waterstof en koolstofdioxide kunnen met behulp van kunstmatige fotosynthese worden omgezet in methanol. Die energierijke organische stof kan worden opgeslagen, vervoerd en gebruikt als brandstof als de zon niet schijnt.

Planten benutten maar een deel van het zonnespectrum. Ze hebben een rendement van niet meer dan 1 tot 2%. Kunstbladeren gebruiken een veel groter deel van het spectrum, waardoor ze een rendement kunnen halen van 20 tot misschien wel 40%.

opdrachten

- 25 De atmosfeer bestaat voor ongeveer 20% uit zuurstof.
Hoe is de concentratie van 20% zuurstof in de atmosfeer ontstaan?
- 26 Wat is het voordeel van chemische energie in organische stof vergeleken met lichtenergie van de zon?
- 27 **a** Zonnebrandstof is een duurzame brandstof. Leg dat uit.
b Leg uit dat de aarde te klein is om door natuurlijke fotosynthese te voldoen aan onze behoefte aan zowel voedsel als energie.
- 28 **a** Noteer vier overeenkomsten tussen natuurlijke en kunstmatige fotosynthese.
b Noteer twee voordelen van kunstmatige fotosynthese in vergelijking met natuurlijke fotosynthese.
- 29 Onderdelen van de ontwikkeling van het kunstblad worden gepatenteerd door onderzoeksinstituten. Dat betekent dat anderen er niet zomaar gebruik van mogen maken.
Vind je dat deze technieken het eigendom moeten zijn van enkele onderzoeksinstituten, of van iedereen? Licht je antwoord toe.

Leerdoel

- Je kunt de voortgezette assimilatie beschrijven.

4 Voortgezette assimilatie

Cellen bestaan uit veel meer stoffen dan de glucose die is gevormd bij de koolstofassimilatie. In de voortgezette assimilatie worden reservevoorraden zetmeel, de vetten van membranen, vele eiwitten (zoals enzymen) en informatiedragers (DNA) gevormd.

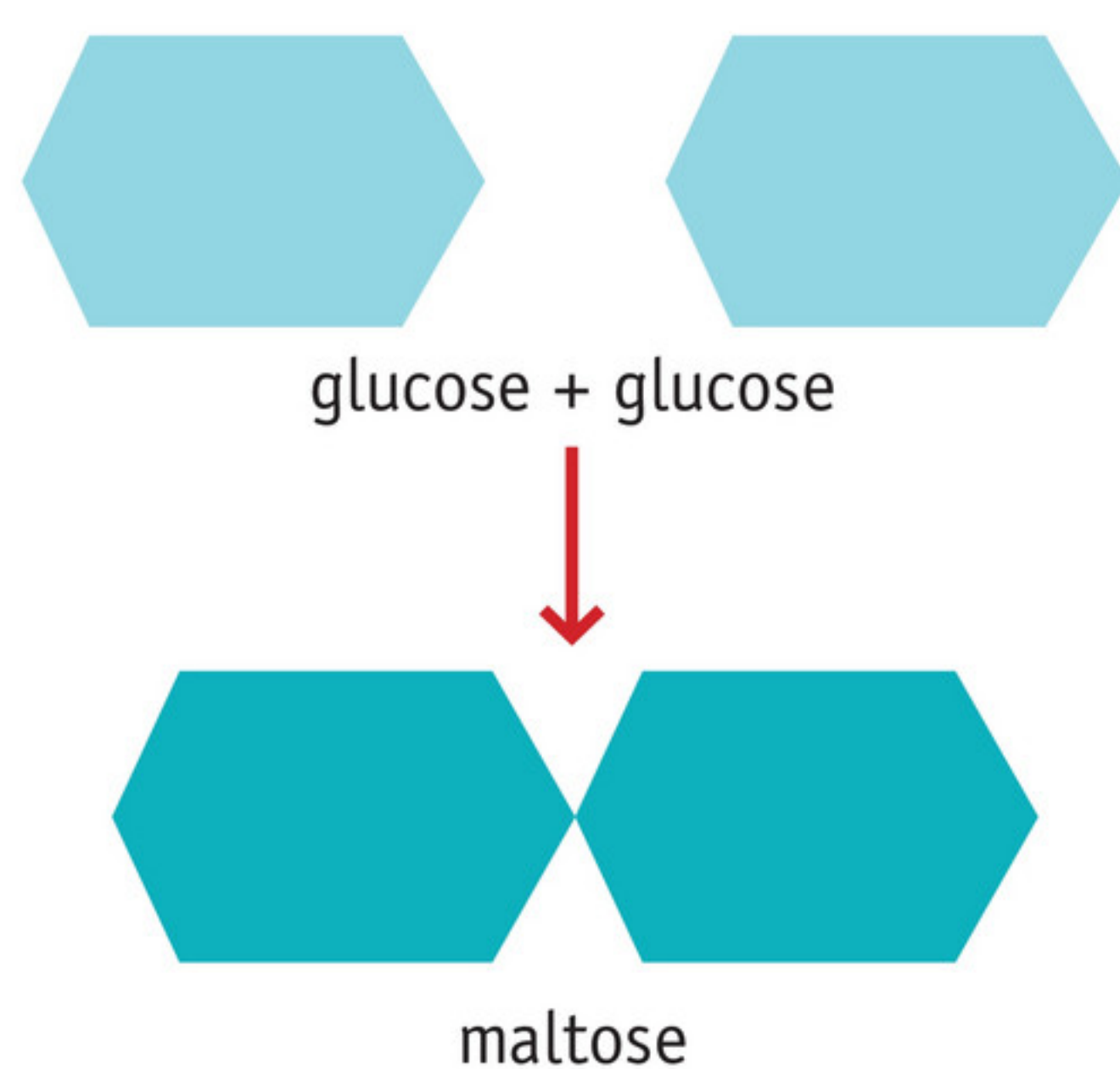
GLUCOSE ALS GRONDSTOF EN BRANDSTOF

Autotrofe organismen gebruiken de glucose die ze maken als grondstof voor de vorming van andere organische stoffen. Dit is de voortgezette assimilatie. De belangrijkste groepen organische stoffen zijn koolhydraten, vetten en eiwitten. Ook heterotrofe organismen kunnen glucose omzetten, maar niet in eiwitten. Naast grondstof is glucose ook brandstof. Bij de verbranding van glucose wordt ATP gevormd. ATP levert de energie voor de voortgezette assimilatie.

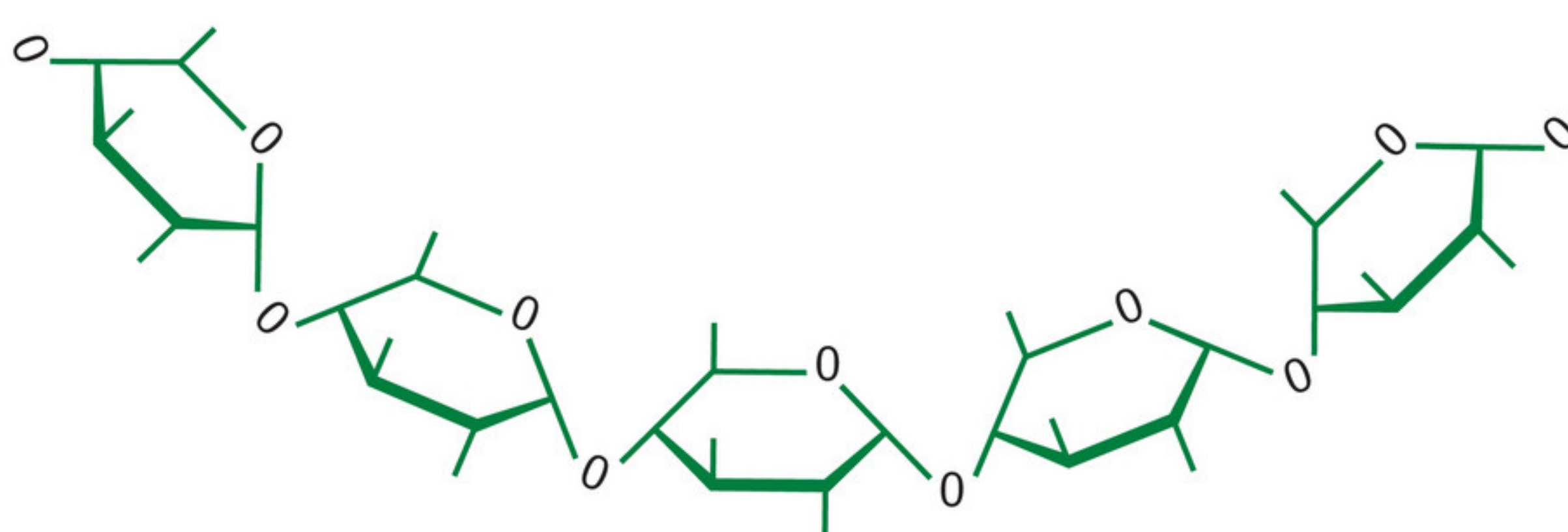
KOOLHYDRATEN

De moleculen van een koolhydraat, ook **sacharide** genoemd, zijn opgebouwd uit koolstof, waterstof en zuurstof. Koolhydraten hebben in de cel vooral een functie als bouwstof en (reserve)brandstof. Koolhydraten zijn in te delen in mono-, di- en polysachariden. **Monosachariden** (enkelvoudige suikers) bevatten vijf of zes C-atomen. Glucose is een monosacharide. De molecuulformule van glucose is $C_6H_{12}O_6$. Glucose is goed oplosbaar in water. Twee moleculen van monosachariden kunnen zich met elkaar verbinden tot een **disacharide** (een molecuul opgebouwd uit twee monosachariden). Twee glucosemoleculen bijvoorbeeld kunnen samen één molecuul maltose vormen (zie afbeelding 20). Andere disachariden zijn lactose (melksuiker) en sacharose (riet- of bietsuiker). Glucosemoleculen kunnen op deze manier lange ketens van monosachariden vormen. Deze noem je **polysachariden** (zie afbeelding 21.1). Een voorbeeld van een polysacharide is **zetmeel**. Dit molecuul wordt in de bladgroenkorrels en zetmeelkorrels van plantaardige cellen opgebouwd uit ongeveer zesduizend glucosemoleculen. De glucosemoleculen vormen bij de bindingsplaats een kleine hoek ten opzichte van elkaar. Doordat deze hoek bij elke bindingsplaats dezelfde kant op wijst, is een zetmeelmolecuul spiraalvormig (zie afbeelding 21.2). Door de grootte van de moleculen is zetmeel slecht oplosbaar in water. Bij dieren wordt in de lever en in spieren **glycogeen** gevormd. Een glycogeenmolecuul bestaat uit meer dan twintigduizend glucosemoleculen en is sterk vertakt (zie afbeelding 21.3). Zetmeel en glycogeen zijn reservebrandstoffen.

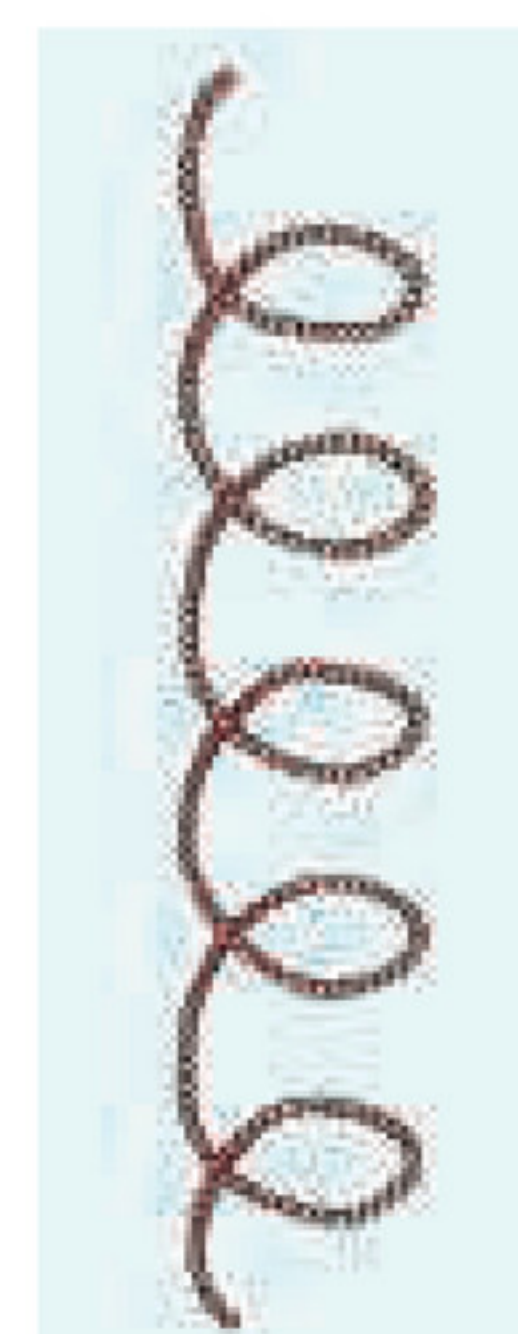
▼ **Afb. 20** De vorming van maltose uit twee glucosemoleculen (schematisch).



▼ **Afb. 21** Polysachariden.



1 deel van een zetmeelmolecuul



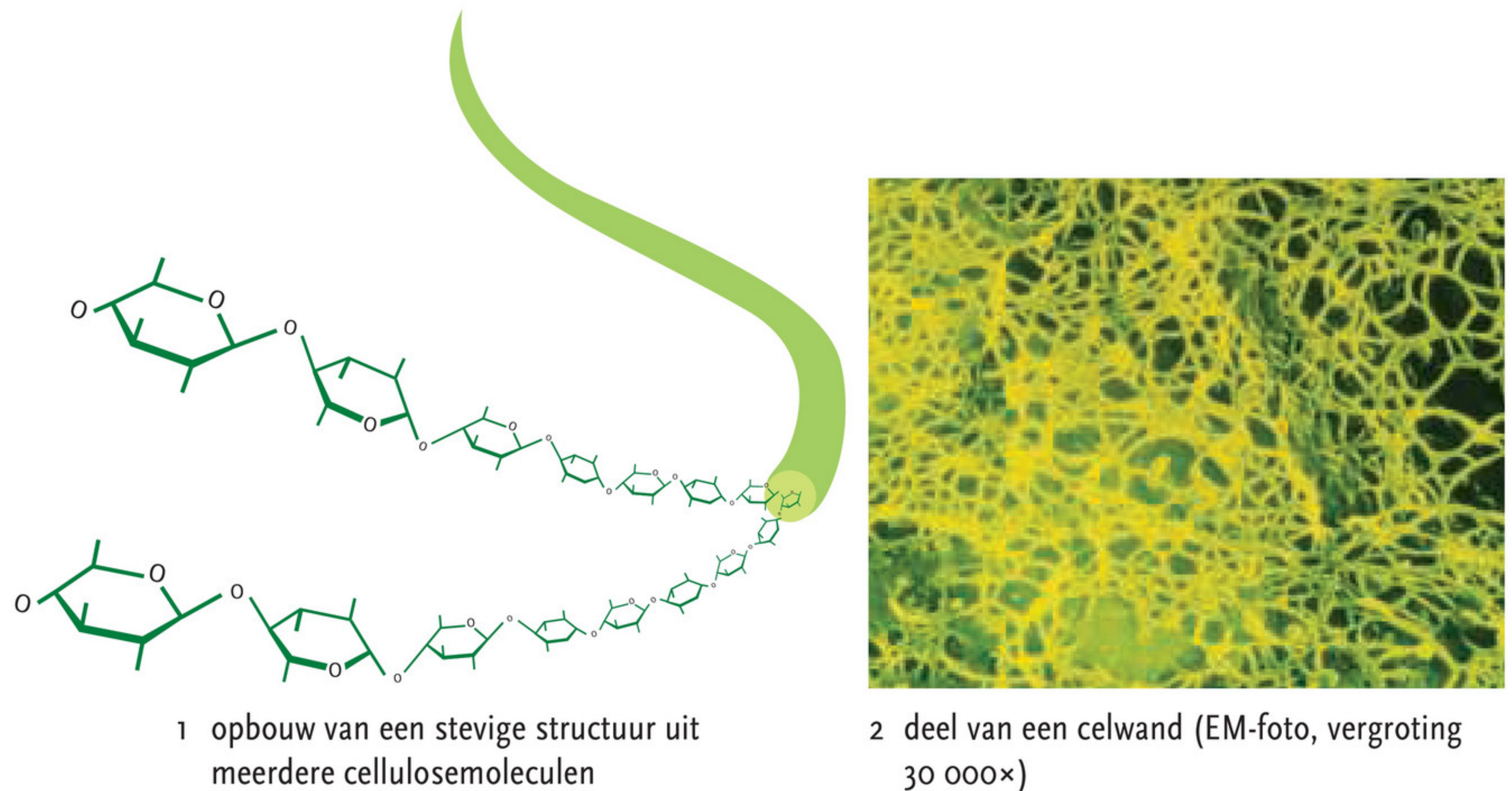
2 vorm van een zetmeelmolecuul



3 vorm van een glycogeenmolecuul

Een andere polysacharide is **cellulose**, het hoofdbestanddeel van de celwanden van planten (zie afbeelding 22). Doordat de hoek tussen de glucosemoleculen bij elke bindingsplaats de andere kant op wijst, ontstaat een lichte zigzagvorm. Enkele tientallen cellulosemoleculen vormen daardoor samen een stevige structuur.

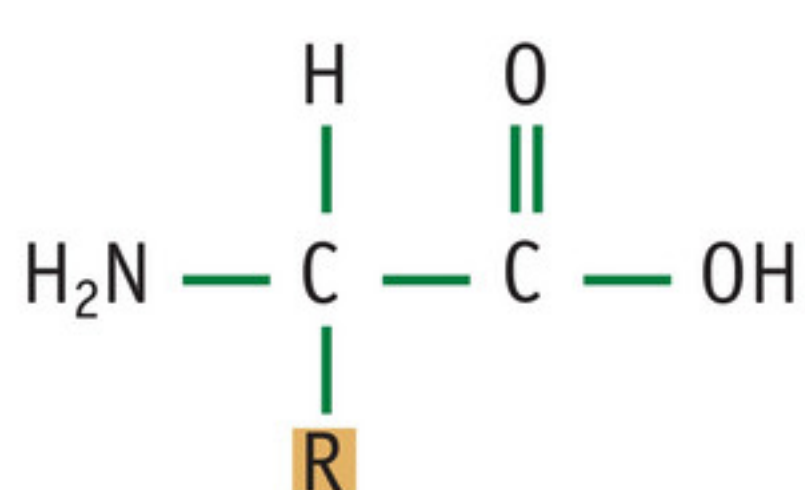
► **Afb. 22** Cellulose.



opdrachten

- 30 Welk stofwisselingsproces levert de benodigde energie voor de voortgezette assimilatie?
- 31 a Waaruit is een polysacharide opgebouwd?
b Wat is het verschil in ruimtelijke vorm tussen een zetmeelmolecuul en een glycogeenmolecuul?
c Waardoor heeft een celwand een stevige structuur?
- 32 In bladcellen wordt de glucose die bij de fotosynthese is gevormd, vrijwel direct omgezet in zetmeel.
a Welk effect heeft dit op de osmotische waarde in de bladcellen?
b De koolhydraten die in bladeren worden gevormd, worden door de bastvaten naar andere plantendelen vervoerd. Zetmeel wordt daarbij eerst omgezet in sacharose.
Leg uit waarom dat noodzakelijk is.
- 33 Tijdens een sportwedstrijd heb je veel koolhydraten nodig die snel in het bloed kunnen worden opgenomen.
Welke koolhydraten kunnen dan het best in je voeding aanwezig zijn? Licht je antwoord toe. Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 67F).

▼ **Afb. 23** De algemene structuur van aminozuren.



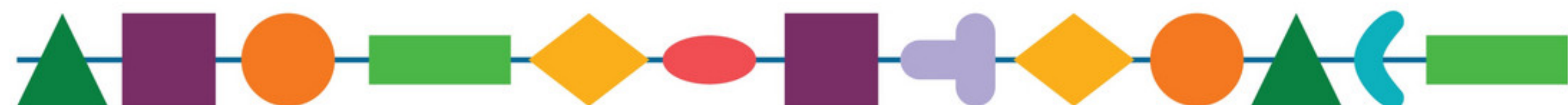
EIWITTEN

Eiwitten (proteïnen) zijn ketens van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren. Een **aminozuur** bevat een centraal C-atoom met daaraan gebonden een aminogroep (NH_2), een carboxygroep (COOH), een H-atoom, en een restgroep (R) die typerend is voor het aminozuur (zie afbeelding 23). In de restgroep kunnen onder andere stikstof en zwavel voorkomen. In menselijke eiwitten komen twintig verschillende typen aminozuren voor.

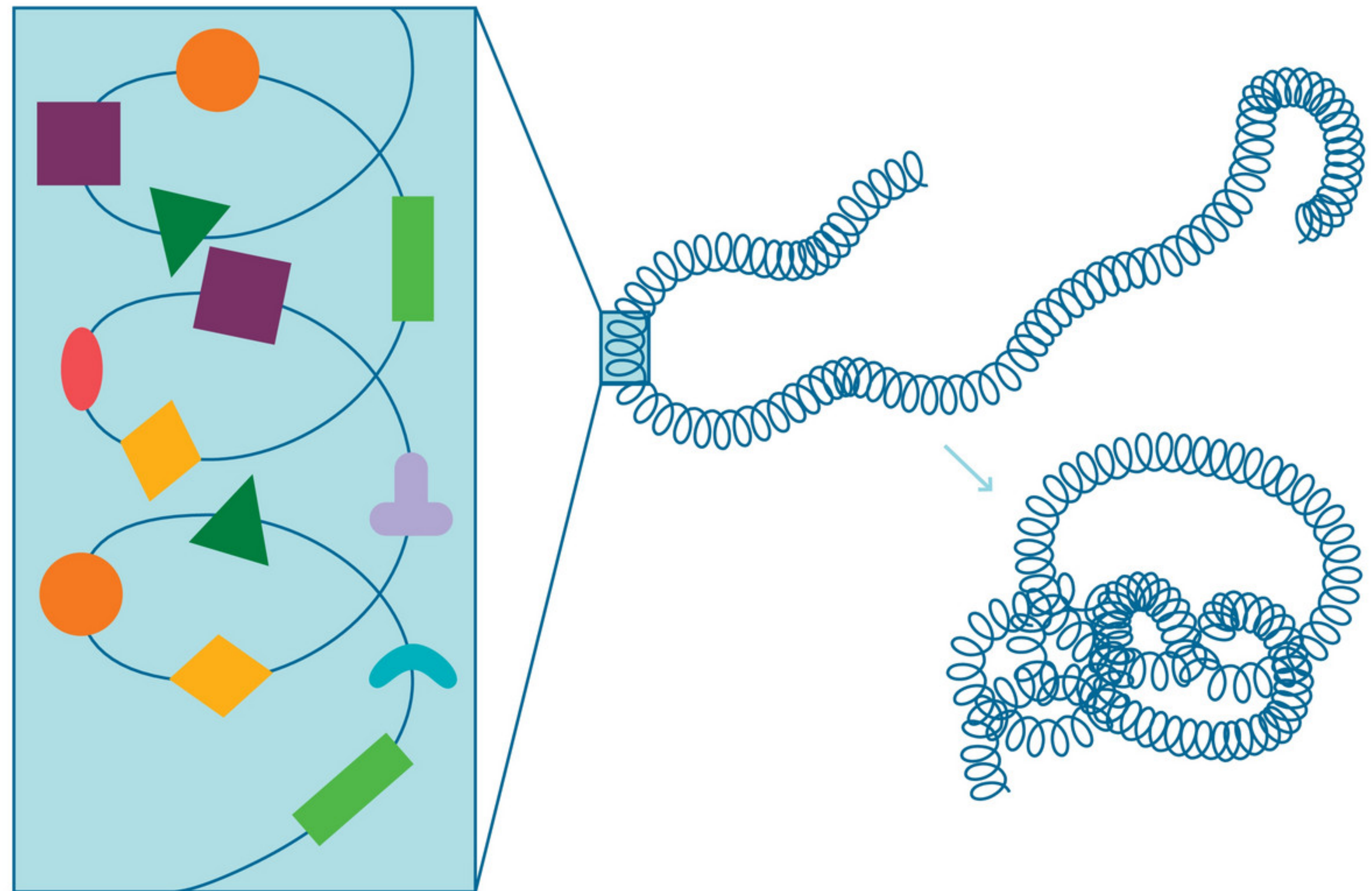
Planten zijn in staat aminozuren op te bouwen uit glucose en stikstofhoudende ionen, vooral uit nitraat (NO_3^-). Bij de opbouw van sommige aminozuren wordt ook sulfaat (SO_4^{2-}) gebruikt. De energie voor de opbouw van aminozuurmoleculen wordt geleverd door ATP. Dieren kunnen geen aminozuren opbouwen uit glucose. Ze zijn wel in staat een aantal aminozuren te vormen uit de aminozuren die ze met hun voedsel binnenkrijgen.

Alle organismen kunnen eiwitmoleculen vormen door aminozuren aan elkaar te koppelen. De ruimtelijke bouw van een eiwitmolecuul heeft verschillende niveaus (zie afbeelding 24). De **primaire structuur** van een eiwitmolecuul wordt bepaald door de typen aminozuren die erin voorkomen en de volgorde waarin deze aminozuren voorkomen.

► **Afb. 24** De ruimtelijke bouw van een eiwitmolecuul (schematisch).

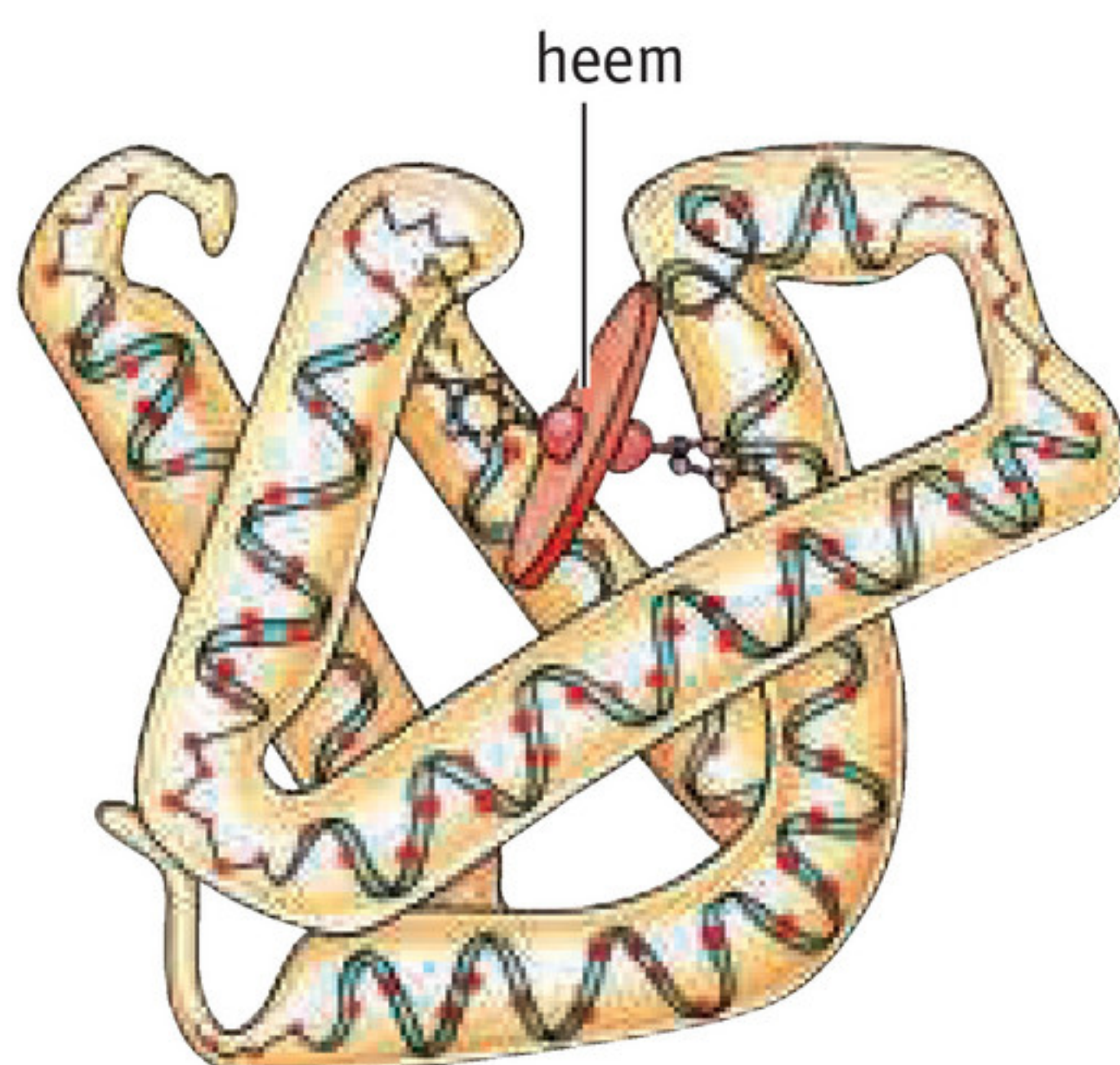


1 primaire structuur: de aminozuurvolgorde



2 secundaire structuur: de helixstructuur

▼ **Afb. 25** De structuur van een myoglobinemolecuul.



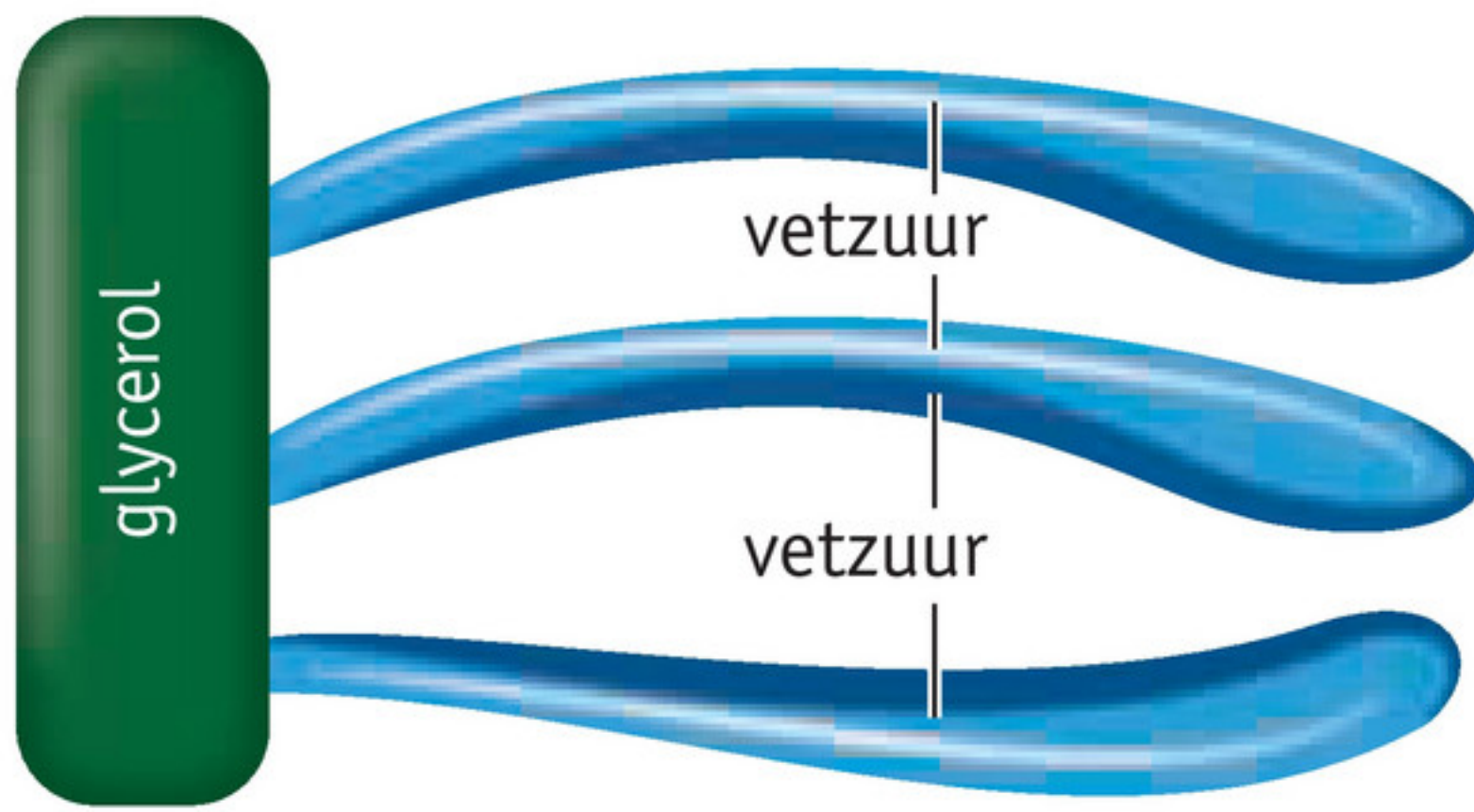
De meeste aminozuren maken bij hun binding steeds een bepaalde hoek ten opzichte van elkaar. Hierdoor vertonen grote delen van een eiwitmolecuul een spiraalvorm. De spiraalvorm van een eiwit wordt de **secundaire structuur** of **helixstructuur** genoemd. Deze spiraal is zeer stabiel.

Door de specifieke ruimtelijke structuur kunnen verschillende eiwitten heel verschillende functies hebben, bijvoorbeeld als enzymen, als bouwstoffen in het cytoplasma of als transportenzymen in membranen.

opdrachten

- 34 Welke elementen komen wel voor in eiwitten maar niet in koolhydraten?
- 35 Myoglobine is een eiwit dat in spieren voorkomt en zuurstof kan binden. In afbeelding 25 is de structuur van een myoglobinemolecuul weergegeven.
 - a Hoe wordt in de afbeelding de primaire structuur weergegeven?
 - b Hoe wordt de secundaire structuur weergegeven?

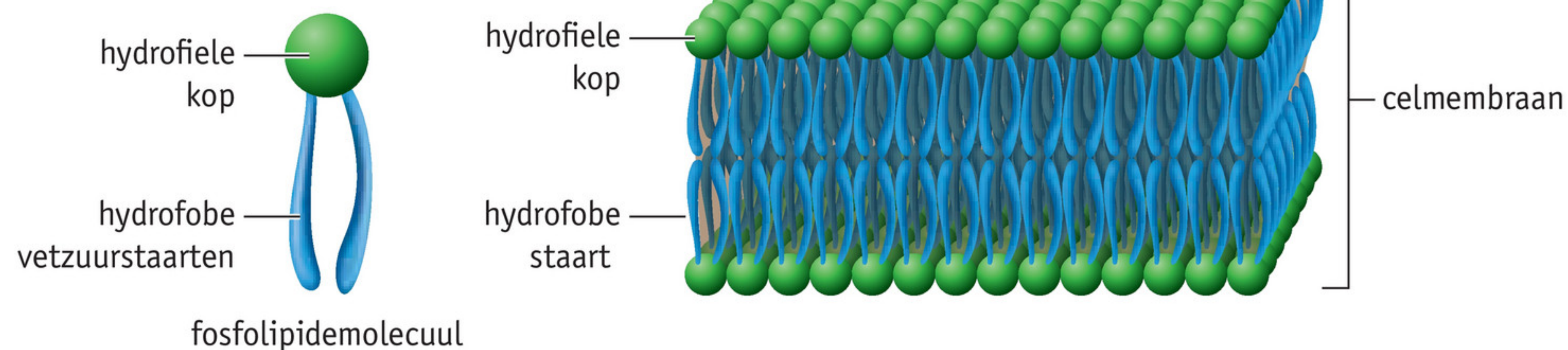
- ▼ **Afb. 26** De bouw van een triglyceridemolecuul (schematisch).



- ▼ **Afb. 27** Structuur van een fosfolipide.



- ▼ **Afb. 28** Opbouw van een membraan uit fosfolipiden.



VETTEN

Er zijn verschillende soorten vetten, zoals cholesterol en olijfolie. Vetten worden ook wel lipiden genoemd. Vetmoleculen bevatten dezelfde elementen als glucosemoleculen (C, O en H). Vet lost niet op in water. Vetten in organismen dienen als bouwstof in membranen en als reservebrandstof. Ze hebben daarnaast een warmte-isolerende functie. Bij warmbloedige dieren worden vetten onder andere opgeslagen in het onderhuidse bindweefsel. Een overschot aan eiwitten en koolhydraten in de voeding kan worden omgezet in vet. De energiedichtheid van vet is erg groot. Vetten maken deel uit van sommige vitaminen, hormonen en cholesterol.

Veel vetten zijn **triglyceriden**. Een triglyceride wordt gevormd doordat drie vetzuurmoleculen zich binden aan een glycerolmolecuul (zie afbeelding 26).

Glycerol bestaat uit drie C-atomen waaraan drie OH-groepen zijn gebonden.

Vetzuur bestaat uit een lange keten van CH_2 -groepen met aan het eind daarvan een carboxygroep (COOH).

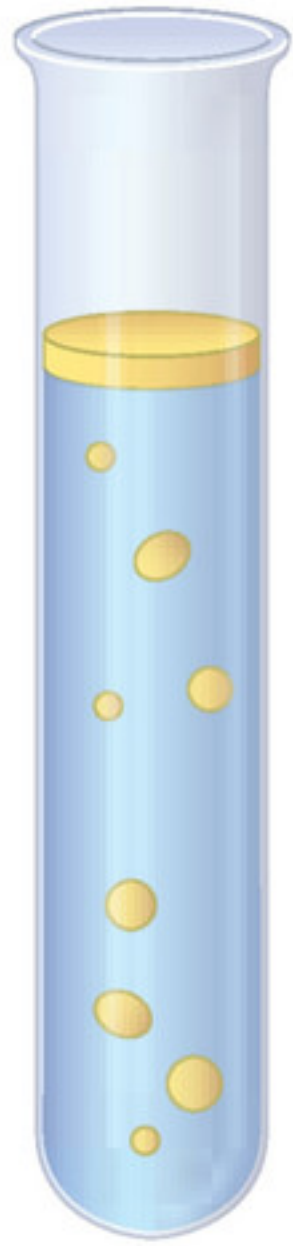
Celmembranen bestaan grotendeels uit **fosfolipiden**. Bij een fosfolipide is één vetzuur van het triglyceride vervangen door een fosfaatgroep (zie afbeelding 27).

Fosfolipiden hebben daardoor twee hydrofobe (waterafstotende) vetzuurstaarten en een hydrofiele (waterminnende) kop met een fosfaatgroep. Hierdoor vormen de fosfolipiden een dubbele laag moleculen, met de hydrofiele fosfaatgroepen aan de buitenzijde en de hydrofobe vetzuurstaarten naar elkaar toe aan de binnenzijde (zie afbeelding 28).

opdrachten

- 36 Zoek in je **Binas** (tabel 67F en 67G) de molecuulformules van palmitinezuur (een vetzuur in palmolie) en van sacharose (tafelsuiker).
- Tel het aantal C-atomen en het aantal C–H-verbindingen in de beide moleculen.
 - De energiedichtheid van vetten is veel groter dan die van koolhydraten. Geef hiervoor een verklaring.
 - Wat kun je op een trektocht het best meenemen voor je energievoorziening: chocolade of suikerhoudend snoep? Licht je antwoord toe.
- 37 Planten kunnen uit alleen glucose wel andere koolhydraten en vetten vormen, maar geen eiwitten. Leg dat uit.
- 38 Bij warmbloedige dieren is vet onder andere opgeslagen in onderhuids bindweefsel. Wat is daarvan de functie?

▼ **Afb. 29** Een mengsel van olie en water.



39 a Als in een triglyceride het derde vetzuur wordt vervangen door een fosfaatgroep, veranderen de fysische eigenschappen van het vetmolecuul ingrijpend. Leg dat uit.

b Een mengsel van olie en water wordt geschud, waardoor de olie druppels in het water vormt (zie afbeelding 29). Vervolgens wordt een vetzuur toegevoegd, waarna het mengsel opnieuw wordt geschud. Een vetzuurmolecuul heeft een hydrofiele kant, net als een fosfolipide. Waar zullen de vetzuurmoleculen zich in dit mengsel bevinden? Leg je antwoord uit.

40 In afbeelding 30 zijn de resultaten weergegeven van een voedings-experiment met jonge ratten.

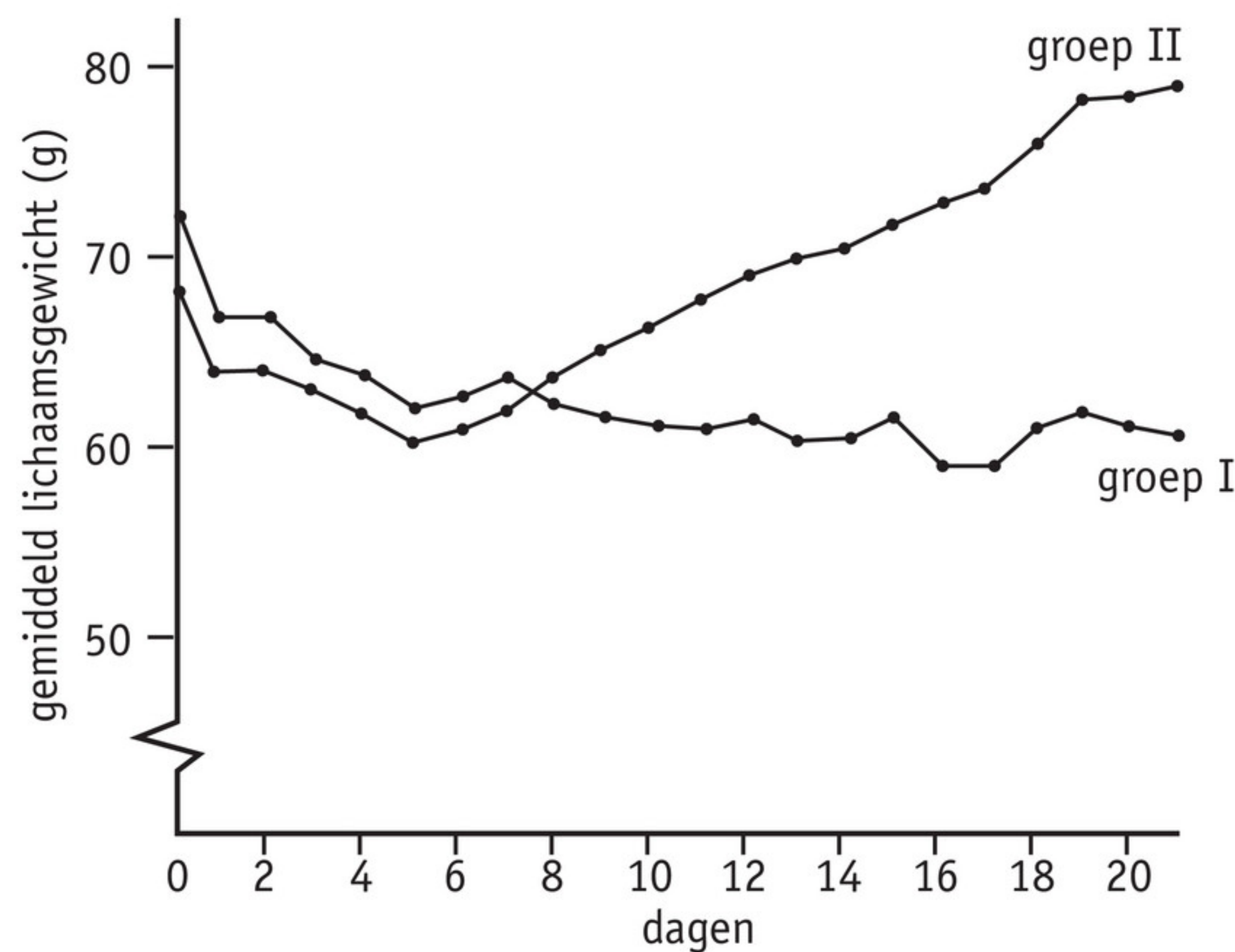
De gezonde ratten in groep I en II werden gevoerd met een dieet bestaande uit alle benodigde vitaminen, koolhydraten, mineralen, water en plantaardige vezels. Als enige eiwit werd zeïne toegediend. Zeïne is een eiwit afkomstig uit maïs.

Na zeven dagen werden aan het dieet van groep II de aminozuren lysine en tryptofaan toegevoegd.

a Welke belangrijke groep organische stoffen ontbreekt in het dieet van de ratten?

b Verklaar de gewichtsafname van beide groepen ratten in de eerste week van het experiment.

► **Afb. 30** Resultaten van een voedings-experiment met jonge ratten.



Bron: J.J. Head, *Discovering biology*, Oxford University Press, 1972.

OPSLAG VAN ASSIMILATIEPRODUCTEN

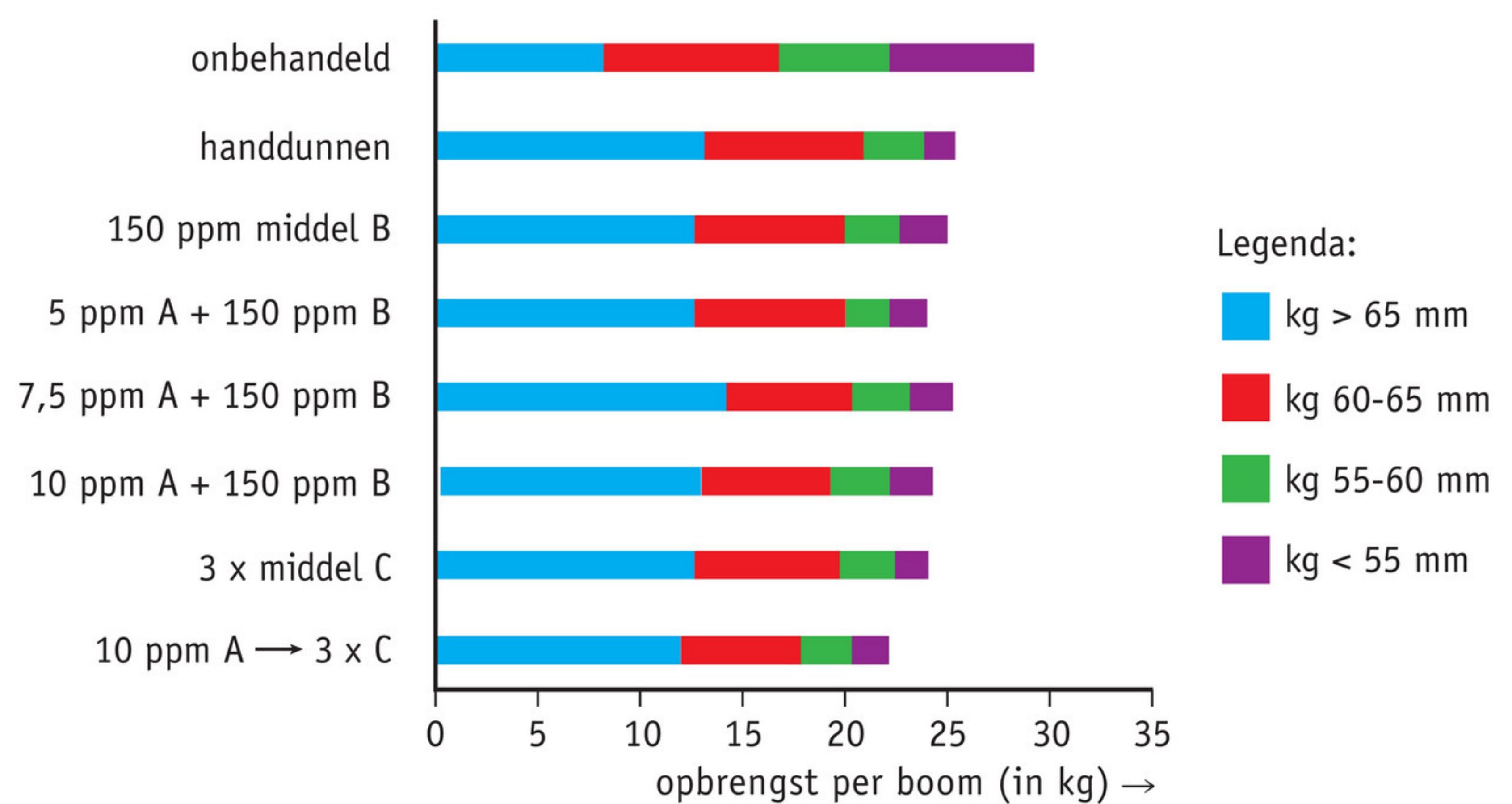
Overdag wordt er in een plant meestal meer glucose gevormd dan er bij dissimilatie wordt verbruikt. Het overschot aan glucose wordt omgezet in koolhydraten, eiwitten en vetten en gebruikt voor opbouw, herstel en de vorming van reservestoffen. Planten slaan reservestoffen vooral op in verdikte, ondergrondse delen (wortels, knollen, bollen) en zaden.

Een groot deel van de gevormde glucose wordt omgezet in zetmeel en tijdelijk opgeslagen in bladcellen. Door de omzetting in zetmeel wordt voorkomen dat de osmotische waarde van de bladcellen te veel stijgt. Vooral 's nachts wordt het opgeslagen zetmeel omgezet in sacharose (suiker) en via bastvaten afgevoerd naar andere delen van de plant, waar het wordt verbruikt bij de dissimilatie of wordt opgeslagen als reservestof.

opdrachten

- 41** Planten slaan reservestoffen onder andere op in wortels, bollen, knollen en zaden.
- Wat is de functie van reservestoffen in ondergrondse delen voor de plant?
 - En in zaden?
- 42** Een leerling wil aantonen dat in bladeren zetmeel is opgeslagen. Op welk moment van de dag kan zij het best een blad plukken: 's morgens vroeg of laat in de middag? Leg je antwoord uit.
- 43** Fruittelers van appels en peren passen in de maanden mei en juni vruchtdunning toe. Hierbij wordt een deel van de vruchten vroegtijdig verwijderd van de fruitboom. Dit wordt gedaan om grote vruchten te oogsten, zonder dat de totale productie te veel daalt. Grotere vruchten leveren de teler meer geld op.
- Leg uit waardoor vruchten aan een fruitboom groter worden na vruchtdunning.
 - Niet alle beschikbare koolhydraten gaan naar het fruit. Leg dat uit.
 - Bij vruchtdunning van appels en peren houdt een teler twintig tot dertig bladeren per vrucht aan dezelfde tak aan.
Leg uit waarom een teler kijkt naar het aantal bladeren per vrucht aan dezelfde tak.
 - Tegenwoordig vindt er ook chemische vruchtdunning plaats. Dit is goedkoper dan handdunnen. Om de ideale combinatie en concentratie van vruchtdunningsmiddelen te bepalen, is bij verschillende bedrijven onderzoek gedaan aan de teelt van conference peren. Gemeten zijn de productie in kilogram en de maatverdeling (grootte van het fruit) in millimeter. De resultaten van één bedrijf zijn weergegeven in afbeelding 31. Welke concentratie chemisch vruchtdunningsmiddel gaf voor deze teler een beter resultaat dan handdunning?
 - Welke conclusie kun je trekken over de productie en maatverdeling van peren als je de onbehandelde bomen vergelijkt met de handgedunde?

► **Afb. 31** Het effect van verschillende vormen van vruchtdunning op productie en maatverdeling.



CONTEXT

Beroep

Voedingsadvies

Na haar opleiding voeding en diëtetiek en cursussen voor sportdiëtist en kinderdiëtist is Anouk de Veen in 2013 gestart met haar eigen voedingsadviesbureau. Anouk spreekt liever van voedingsadvies dan van diëten.

Zowel voeding als psychologie zijn erg belangrijk in haar werk. Anouk helpt graag mensen bij het veranderen van hun leefstijl en het vasthouden van het nieuwe eet- en leefpatroon. Samen met de cliënt kiest Anouk een methode die het best aansluit bij de persoonlijke leefstijl en gezondheid. Cliënten met eetbuien krijgen bijvoorbeeld verschillende opdrachten om de eetbuien onder controle te krijgen. Ook helpt Anouk bij het voorkomen van het 'jojo-effect' dat vaak optreedt na diëten.

Aan de hand van het eet-, leef- en trainingspatroon en een uitgebreide analyse van de benodigde voedingsstoffen stelt Anouk ook sportvoedingsadviezen op. Die zijn bedoeld om de sportprestaties te verbeteren. Doordat ze zelf op hoog niveau heeft geschaatst en gewielrend, kan ze zich goed inleven in sporters. Om haar vakkennis up-to-date te houden, blijft Anouk cursussen volgen. Ze is aangesloten bij de Nederlandse Vereniging voor Diëtisten, het NKD (Netwerk Kinder Diëtisten) en ze is ingeschreven in het kwaliteitsregister voor diëtisten. Bron: www.dietist-lavitasana.nl.

▼ Afb. 32 Anouk de Veen.



opdrachten

- 44 Anouk werkt voornamelijk op basis van koolhydraatbeperking.
 - a Leg uit waarom een koolhydraatarm dieet effectief kan zijn bij overgewicht.
 - b Welke andere groep voedingsstoffen levert een belangrijke bijdrage aan de energievoorziening van je lichaam?
- 45 Naast het voedingspatroon is nog een aspect van de leefstijl belangrijk voor een stabiel lichaamsgewicht.
 - a Welk aspect is dat?
 - b Waarvoor is het belangrijk dat een voedingsadvies in een persoonlijk gesprek wordt vastgesteld?
 - c Licht toe dat behalve kennis van voeding ook kennis van gedrag en psychologie belangrijk is voor een diëtist.
- 46 Anouk volgde de hbo-opleiding Voeding en diëtetiek om diëtist te worden.
 - a Zoek op internet nog drie andere hbo-opleidingen rond voeding. Noteer bij elke studierichting: wat leer je, welk(e) beroep(en) kun je daarna uitoefenen, en bij welk (soort) bedrijf kun je gaan werken.
 - b Zou een opleiding tot diëtist iets voor jou kunnen zijn? Of een van de andere opleidingen rond voeding? Licht je antwoord toe.

Leerdoelen

- Je kunt de aerobe en anaerobe dissimilatie van glucose beschrijven.
- Je kunt de dissimilatie van eiwitten en vetten beschrijven.

5

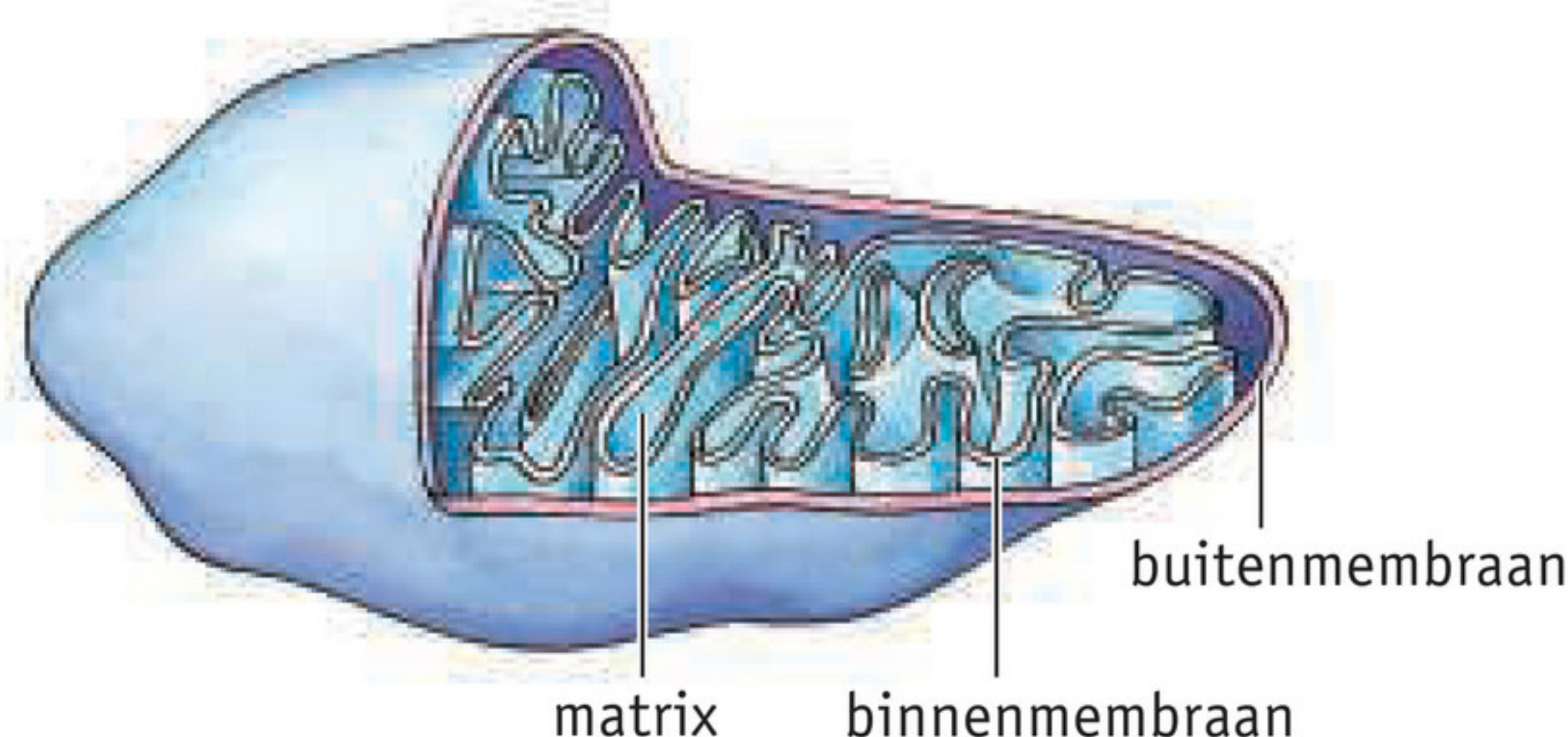
Dissimilatie

Geen enkel levend wezen kan zonder energie. Energie om stoffen op te nemen, te groeien, te bewegen of voort te planten. Die energie is vaak afkomstig van opgenomen of opgeslagen energierijke stoffen.

AEROBE DISSIMILATIE VAN GLUCOSE

Bij dissimilatie (afbraak) van organische stoffen komt de energie die bij de fotosynthese is vastgelegd, weer beschikbaar. De belangrijkste brandstof in de cellen is glucose. Dissimilatie van glucose met zuurstof noem je aerobe dissimilatie of **verbranding**. De verbranding vindt grotendeels plaats in de mitochondriën (zie afbeelding 33).

► **Afb. 33** Een mitochondrium.



Behalve glucose kunnen ook vetten en eiwitten worden verbrand. Bij verbranding wordt ATP gevormd, dat door cellen kan worden gebruikt als energiebron:



De reactievergelijking van de verbranding van glucose is:

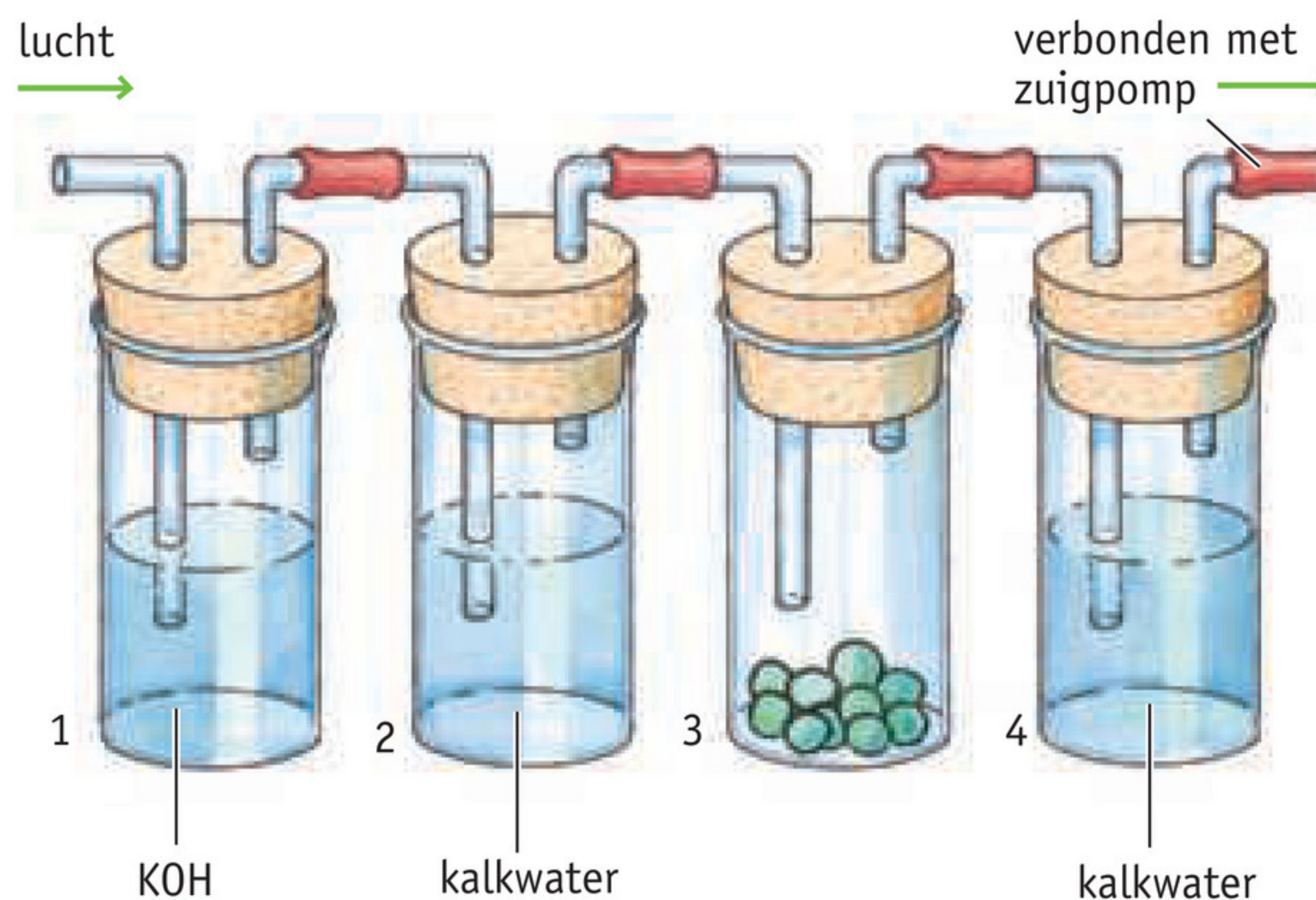


►► PRACTICUMOPDRACHT 4

opdrachten

- 47** Kalkwater is een indicator voor koolstofdioxide. Koolstofdioxide maakt helder kalkwater troebel. In afbeelding 34 is een proefopstelling gegeven.

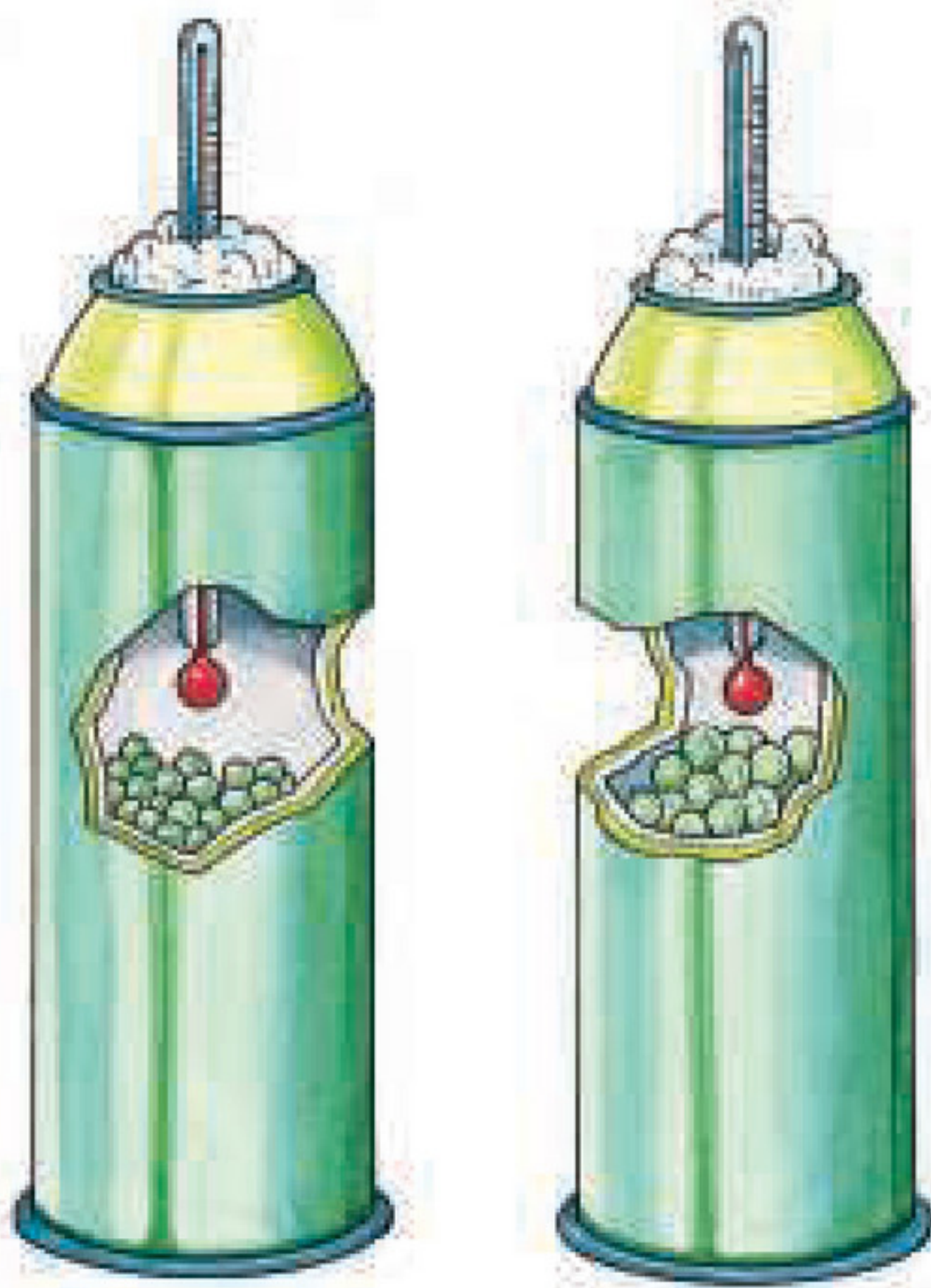
► **Afb. 34** Proefopstelling.



De KOH-oplossing (kaliumhydroxideoplossing) in buis 1 haalt alle koolstofdioxide uit de lucht. In buis 2 en 4 zit helder kalkwater. In buis 3 zitten kiemende erwten. Buis 4 is verbonden met een pomp die lucht aanzuigt.

- Zal het kalkwater in buis 2 troebel worden? Leg je antwoord uit.
- Zal het kalkwater in buis 4 troebel worden? Leg je antwoord uit.
- Wat is de functie van buis 2 in deze opstelling?

▼ Afb. 35 Proefopstelling.



1 droge, niet ontkiemende groene erwten

2 geweekte, ontkiemende groene erwten

- 48 In twee thermosflessen wordt de temperatuur gemeten bij droge en geweekte erwten (zie afbeelding 35). De flessen worden afgesloten met watten. De thermometers zijn tussen de watten vastgeklemd zodanig dat de schaalverdeling nog afleesbaar is.
- Waarom worden de flessen afgesloten met watten?
 - In welke thermosfles is na twee dagen de temperatuur gestegen?
 - Verklaar de temperatuurstijging. Gebruik de term verbranding.

ANAEROBE DISSIMILATIE VAN GLUCOSE

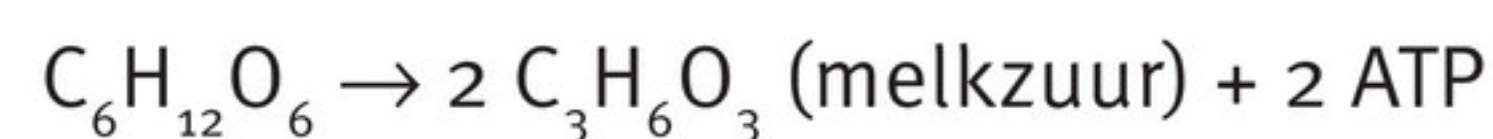
Wanneer in cellen voldoende zuurstof aanwezig is, vindt verbranding plaats (aerobe dissimilatie). De meeste organismen kunnen ook glucose dissimileren zonder zuurstof. Dit noem je anaerobe dissimilatie of **gisting**. Ook bij gisting wordt ATP gevormd.

Bij gisting kan alcohol (ethanol) ontstaan (zie **Binas** tabel 68B). Als er alcohol ontstaat, spreek je van **alcoholgisting**. Dit gebeurt bijvoorbeeld in gistcellen. Ethanol bevat nog veel chemische energie. Bij gisting komt dan ook per glucosemolecuul veel minder energie beschikbaar voor de cel dan bij verbranding. De reactievergelijking van alcoholgisting is:



Bij de bereiding van bier, wijn en brood vindt alcoholgisting plaats. De gasbelletjes in bier en in mousserende wijn (bijvoorbeeld champagne) bevatten koolstofdioxide, dat ook is ontstaan bij de alcoholgisting.

Bij gisting kan ook melkzuur ontstaan (zie **Binas** tabel 68B). In een zuurstofarme omgeving breken melkzuurbacteriën glucose af tot melkzuur. Deze vorm van anaerobe dissimilatie van glucose noem je **melkzuurgisting**. Melkzuurbacteriën worden onder andere gebruikt bij de productie van kaas, yoghurt en zuurkool. Melkzuurgisting leidt tot verzuring van voedingsproducten. De reactievergelijking van melkzuurgisting is:



Bij veel dieren en ook bij mensen kan door melkzuurgisting verzuring ontstaan, vooral in de spieren ('verzuurde spieren'). Dit gebeurt als er meer energie nodig is dan de aerobe dissimilatie kan leveren, bijvoorbeeld bij sporters die een eindsprint inzetten. Door zuurstoftekort in de spieren stagneert dan de verbranding en ontstaat er melkzuur door melkzuurgisting in de spiercellen. Per glucosemolecuul komt bij melkzuurgisting slechts weinig energie beschikbaar. Het is dan nodig in korte tijd veel glucose te dissimileren.

Melkzuur bevat nog veel energie en wordt afgevoerd naar de lever. Na afloop van de inspanning wordt het met behulp van zuurstof en ATP weer omgezet in glucose. Spieren kunnen ook verzuren door de omzetting van ATP in ADP. Daarbij ontstaat fosforzuur (H_3PO_4). Melkzuurgisting en ophoping van fosforzuur kunnen zo leiden tot verzuring.

opdrachten

- 49 Vul de tabel in.
- Kies bij 1 uit: *gisting* – *verbranding*.
 - Kies bij 2 uit: *met zuurstof* – *zonder zuurstof*.
 - Kies bij 3 uit: *twee of geen moleculen CO₂* – *zes moleculen CO₂*.
 - Kies bij 4 uit: *veel energie* – *weinig energie*.
 - Kies bij 5 uit: *veel energie* – *weinig energie*.

	Aerobe dissimilatie van glucose	Anaerobe dissimilatie van glucose
1 Dit proces heet ook wel		
2 Dit proces vindt plaats		
3 Per glucosemolecuul ontstaan		
4 De eindproducten bevatten		
5 Dit proces levert		

▼ **Afb. 36** Deze sporter komt op adem na een zware wedstrijd.



▼ **Afb. 37** Wijnvaten met watersloten.



- 50 Leg uit hoe brooddeeg rijst. Gebruik in je antwoord de begrippen enzymen en alcoholgisting.
- 51 Melk begint doorgaans onder in een fles zuur te worden. Waardoor begint dit proces onder in de fles?
- 52 In het cytoplasma van spiercellen en in de weefselvloeistof van de spieren is een hoeveelheid zuurstof opgelost. Tijdens de 100 meter sprint is deze hoeveelheid al na twee tot drie seconden verbruikt.
- a Op welke drie manieren wordt tijdens de 100 meter sprint achtereenvolgens energie geleverd aan de spiercellen?
- b Melkzuur ontstaat onder zuurstofarme omstandigheden in grote hoeveelheden in de spieren. Leg uit dat het voor het lichaam efficiënter is om dit melkzuur in de lever ten koste van ATP weer om te zetten in glucose, dan het via de nieren uit te scheiden.
- c Na een grote inspanning blijven sporters minutenlang uithijgen (zie afbeelding 36). Leg uit waarvoor dit nodig is.
- 53 Wijn kun je maken in een vat of fles met een waterslot (zie afbeelding 37). Een waterslot laat gasbellen uit het vat ontsnappen, maar laat geen lucht van buitenaf het vat binnenkomen.
- a Waarom mag er geen lucht van buitenaf het vat binnenkomen?
- b Bij de productie van wijn stopt de alcoholgisting wanneer een alcoholpercentage van ongeveer 14% is bereikt. Waardoor stopt dan het gistingsproces?

- 54 Gewone bakkersgist kan worden gebruikt om glucose en sacharose te vergisten tot de biobrandstof ethanol. Voor die eenvoudige omzetting zijn in de gistcel zo'n twaalf tot vijftien eiwitten nodig. Door het inbouwen van genen uit een schimmel en een melkzuurbacterie maakten onderzoekers aan de TU Delft gistvarianten die ook monosachariden zoals xylose en arabinose uit restafval kunnen omzetten in ethanol. In een fabriek in Iowa in de Verenigde Staten wordt met deze genetisch gemodificeerde gistvariant jaarlijks tachtig miljoen liter ethanol gemaakt uit maïsafval.
- Wat is de functie van de eiwitten die nodig zijn voor omzetting van glucose en sacharose in ethanol?
 - Het gebruik van gewone bakkersgist kan leiden tot concurrentie tussen voedsel- en brandstofproductie. Bij gebruik van de genetisch gemodificeerde gist is de geproduceerde brandstof wel volledig duurzaam. Leg dat uit.

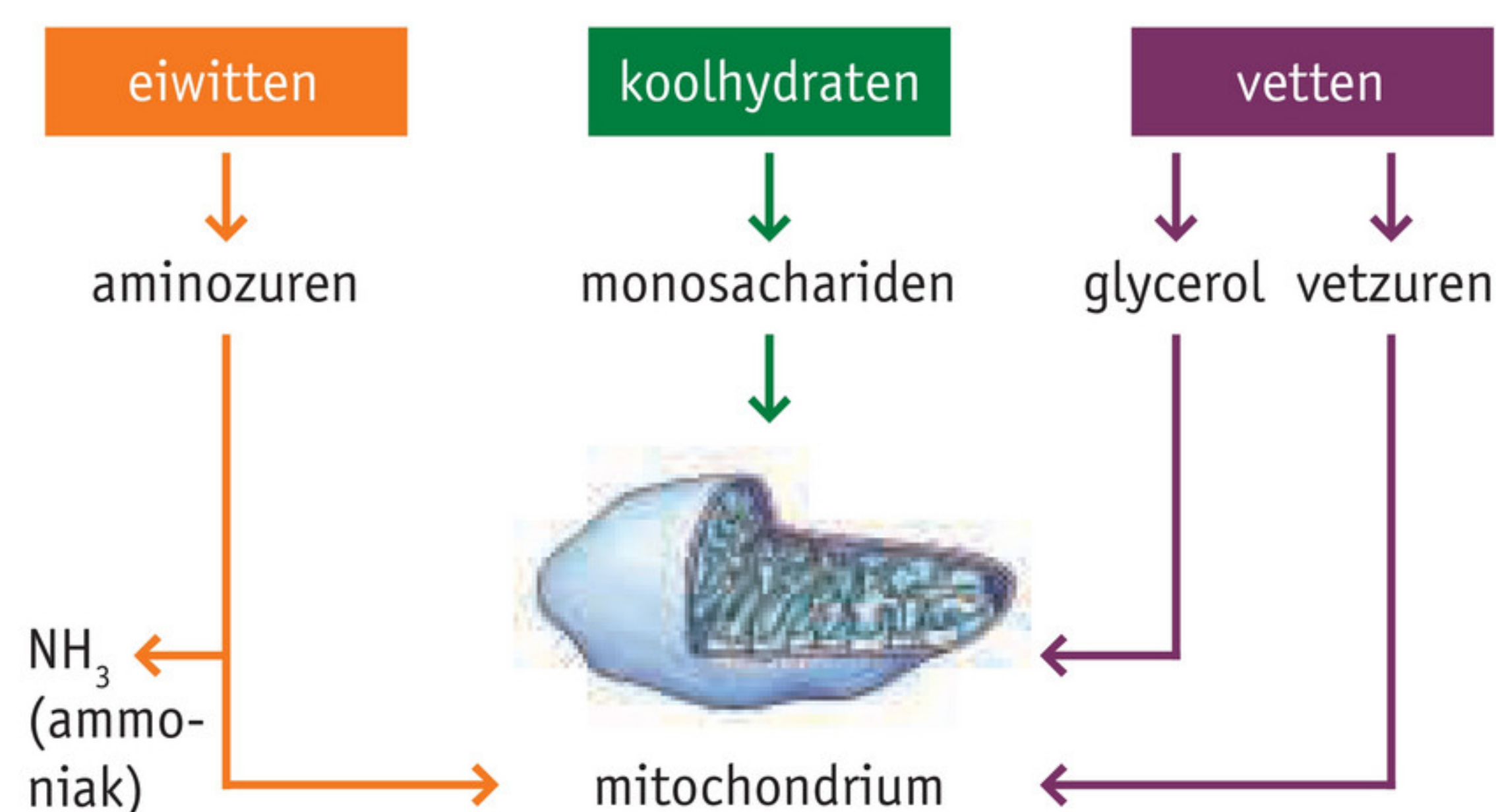
AEROBE DISSIMILATIE VAN KOOLHYDRATEN, EIWITTEN EN VETTEN

In cellen wordt niet alleen glucose verbrand. Ook andere koolhydraten, eiwitten en vetten worden afgebroken (zie afbeelding 38).

- Koolhydraten worden eerst omgezet in monosachariden, vooral glucose.
- Eiwitten worden eerst gesplitst in aminozuren. Van de aminozuren wordt de aminogroep afgesplitst en omgezet in ammoniak (NH_3). Ammoniak wordt bij dieren en mensen omgezet in urinezuur of ureum en uitgescheiden. Bij de afbraak van aminozuren kan ook zwavel ontstaan. De overgebleven koolstofketen kan worden omgezet in andere stoffen die in de mitochondriën worden verbrand.
- Vetten worden eerst gesplitst in glycerol en vetzuren. Glycerol en vetzuren kunnen worden omgezet in andere stoffen en verbrand in de mitochondriën. Als in een cel geen grote behoefte is aan energie, kan glycerol ook worden omgezet in glucose en vervolgens in glycogeen. Dit wordt opgeslagen als energiereserve.

Bij de verbranding van vetten komt veel meer energie vrij dan bij de verbranding van koolhydraten of eiwitten. Dit wordt veroorzaakt door het relatief grote aantal koolwaterstofbindingen per gram vet.

► **Afb. 38** Verbranding van eiwitten, koolhydraten en vetten



opdrachten

- 55 Welke schadelijke stoffen kunnen ontstaan bij verbranding van eiwitten?
- 56 Welke stoffen leveren bij verbranding per gram het meeste ATP op: koolhydraten, eiwitten of vetten?
- 57 Een mossel hecht zich vast aan de ondergrond en brengt grote delen van zijn leven op dezelfde plaats door. Een mossel slaat in zijn lichaam als energiereserve vooral glycogeen op. Vogels slaan als energiereserve vooral vetten op.
Leg uit dat dit verschil samenhangt met de levenswijze van de dieren.
- 58 Carnitine is een stof die vetzuren door membranen kan transporteren ten behoeve van de verbranding.
In welke membranen in cellen zal carnitine zeker voorkomen? Leg je antwoord uit.

CONTEXT

Leefwereld

Fermenteren met smaak

Fermenteren was in het koelkastloze tijdperk dé manier om voedsel te verduurzamen (zie afbeelding 39). Melkzuurbacteriën veranderen kool in zuurkool en melk in yoghurt. Hierdoor blijven rottingsbacteriën buiten de deur. Zelfgemaakte zuurkool en yoghurt zijn minder zuur en subtieler van smaak. Het vergisten van suikers in melkzuur of alcohol heet fermenteren. Bier en speciale kaasjes zijn fermentatieproducten. Al deze voedingsmiddelen zijn gemaakt met behulp van bacteriën, gisten of schimmels die ons voedsel smaakvoller en beter houdbaar maken. De reductanten produceren enzymen die ervoor zorgen dat de zuurgraad, smaak, geur, uiterlijk, verteerbaarheid en de houdbaarheid veranderen. Yoghurt kun je eenvoudig zelf maken. Dat kan met allerlei soorten melk, zoals koemelk, geitenmelk of zelfs sojamelk. Daar voeg je melkzuurbacteriën aan toe, waarvan verschillende mengsels te verkrijgen zijn. Je moet de melk wel eerst even verhitten tot 80 °C, laten afkoelen en in een goed schoongemaakte pot doen voordat je de bacteriecultuur toevoegt. Afgedekt laten staan bij 40 °C en na een nacht is je yoghurt klaar. Door de yoghurt in een kaasdoek te laten uitlekken, ontstaat hangop. Het vocht, de wei, kun je goed gebruiken voor het inmaken van groenten. Eet smakelijk!

- ▼ **Afb. 39** Fermenteren in een koelkastloos deel van de wereld.



opdracht

- 59 Yoghurt is langer houdbaar dan melk.
- Leg uit waardoor dat komt.
 - Zuurkool en yoghurt die je in de supermarkt koopt, zijn gepasteuriseerd. Wat is pasteuriseren en waarom gebeurt dat?
 - Bij lactose-intolerantie is het beter om de yoghurtkweek langer te laten staan. Leg uit waarom.
 - Is het beter om de yoghurtkweek luchtdicht af te sluiten of om de pot open te laten?
 - Sommige mensen beweren dat zelfgemaakte yoghurt gezonder is, doordat deze probiotica bevat die goed zijn voor je darmflora. Leg dat uit.



Leerdoel

- Je kunt de voorwaarden voor het fotosyntheseproces in planten benoemen.

6 Intensiteit van de stofwisseling

Zolang we leven, gaat de stofwisseling door. Dat blijkt uit onze ademhaling. Bij planten is de gaswisseling het resultaat van verbranding en fotosynthese.

BASALE STOFWISSELING

In ons lichaam vinden processen plaats die altijd doorgaan, zoals de hartslag, de ademhaling en de peristaltische bewegingen van het darmkanaal. De minimale stofwisseling die nodig is om deze processen op gang te houden, noem je de **basale stofwisseling**. De **intensiteit van de stofwisseling** is de snelheid waarmee de stofwisseling plaatsvindt. Je kunt de intensiteit van de basale stofwisseling bepalen door de hoeveelheid zuurstof te meten die je in rust verbruikt. Het zuurstofverbruik is onder andere afhankelijk van het geslacht, de activiteit, de leeftijd en het lichaamsgewicht.

» PRACTICUMOPDRACHT 5

INTENSITEIT VAN DE FOTOSYNTHESE

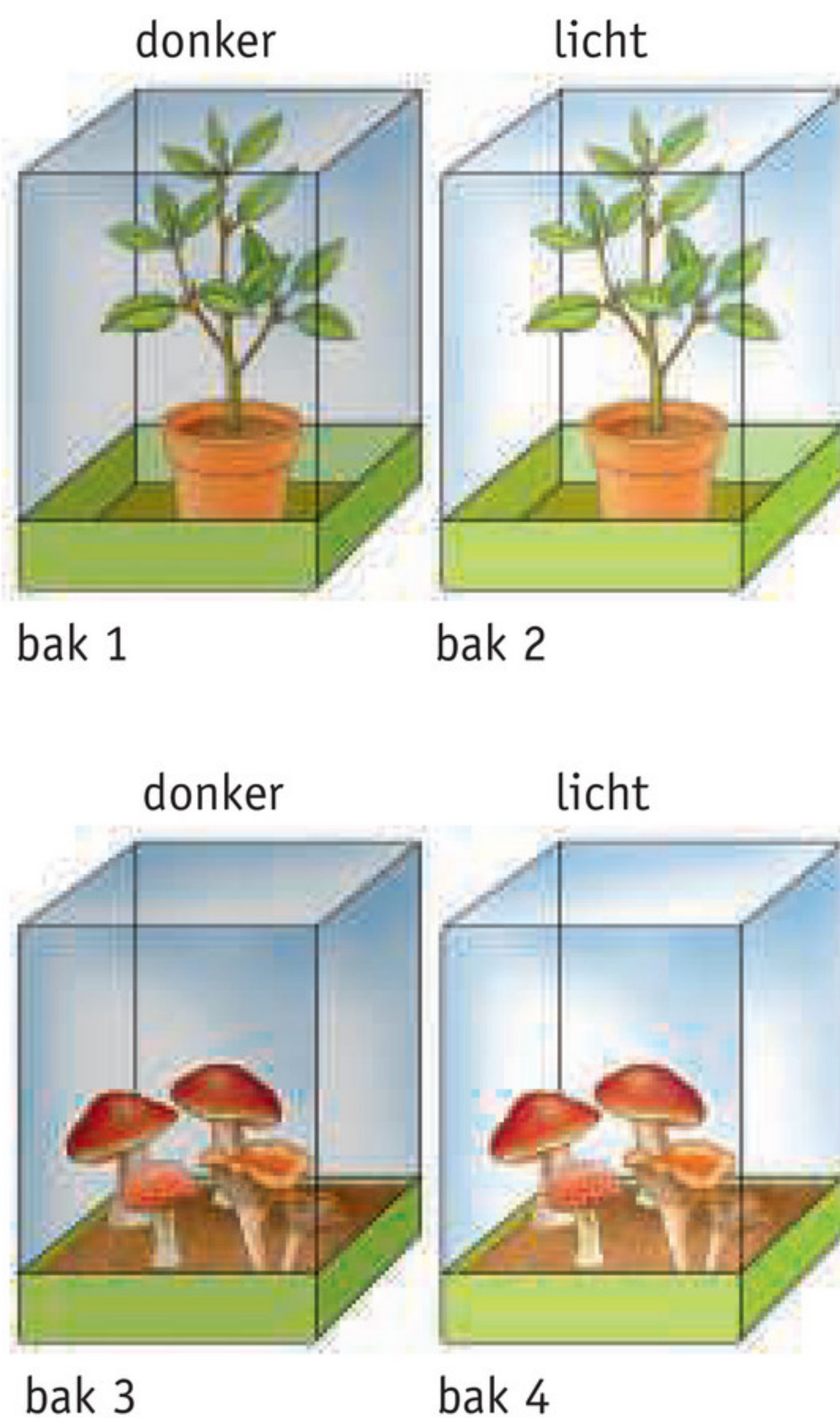
De **intensiteit van de fotosynthese** is de snelheid waarmee bij de fotosynthese glucose wordt gevormd en zuurstof ontstaat. Deze intensiteit wordt meestal uitgedrukt in geproduceerde milliliter O_2 per minuut of verbruikte milliliter CO_2 per minuut. De zuurstofproductie is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de hoeveelheid licht en het kleurenspectrum, de beschikbare hoeveelheid koolstofdioxide en water, de temperatuur en de hoeveelheid bladgroen. De intensiteit van de fotosynthese wordt bepaald door de factor die het minst gunstig is: de **beperkende factor**. Als bijvoorbeeld bij een toenemende hoeveelheid licht de fotosynthese toeneemt, dan is licht de beperkende factor voor de fotosynthese.

Ook de verbranding in planten wordt beïnvloed door milieufactoren, zoals de temperatuur en de hoeveelheid zuurstof. Meestal wordt de invloed van de lichtsterkte op de intensiteit van de verbranding (het zuurstofverbruik van de plant) buiten beschouwing gelaten.

De intensiteit van de fotosynthese (de zuurstofproductie van de plant) is niet rechtstreeks te bepalen. Dat komt doordat een deel van de zuurstof die bij de fotosynthese in het blad ontstaat, wordt verbruikt bij de verbranding. De zuurstofafgifte is dus altijd kleiner dan de zuurstofproductie. 's Nachts, in het donker, vindt geen fotosynthese plaats. Door te bepalen hoeveel zuurstof 's nachts bij de verbranding wordt verbruikt, kun je indirect de zuurstofproductie door de fotosynthese afleiden. Je gaat er daarbij van uit dat het zuurstofverbruik overdag en 's nachts gelijk is. Het gemeten zuurstofverbruik door verbranding tel je op bij de zuurstofafgifte tijdens fotosynthese. Deze waarde is de maat voor de intensiteit van de fotosynthese.

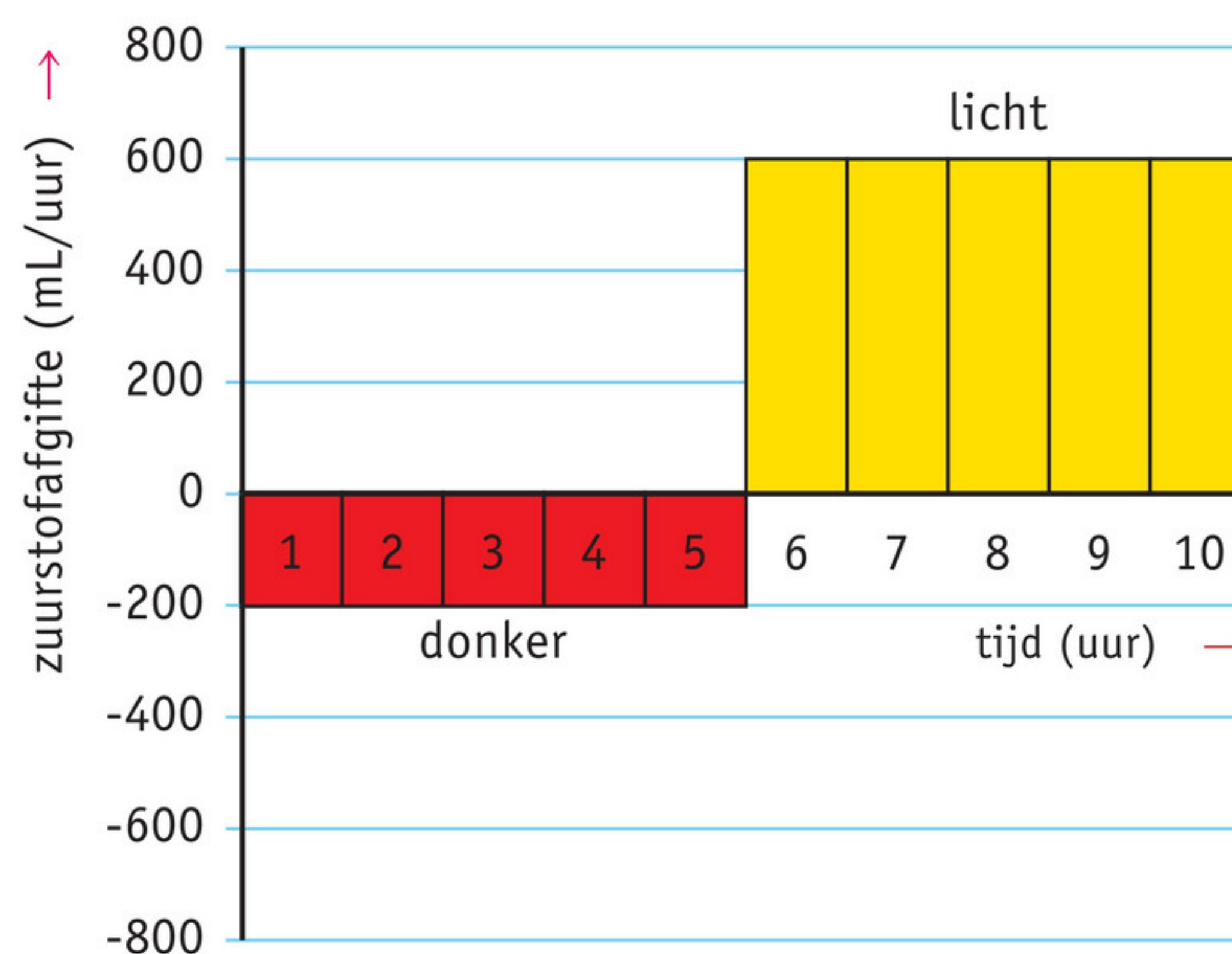
In plaats van de zuurstofopname en -afgifte, kun je ook de opgenomen of afgegeven hoeveelheid koolstofdioxide van de plant bepalen.

» PRACTICUMOPDRACHT 6

▼ **Afb. 40** Proefopstelling.► **Afb. 41** Zuurstofafgifte gedurende tien uur.

opdrachten

- 60** Leg in eigen woorden uit wat bij fotosynthese een beperkende factor is.
- 61** In afbeelding 40 zijn vier afgesloten bakken met levende organismen getekend. Bak 1 en 3 staan in het donker. Bak 2 en 4 staan in het licht. Alle andere omstandigheden zijn gelijk. De organismen beschikken over voldoende water, warmte en voedingsstoffen.
- In welke bak(ken) vindt verbranding plaats?
 - In welke bak(ken) vindt fotosynthese plaats?
 - In welke bak(ken) zal de hoeveelheid zuurstof zeker afnemen?
 - In welke bak(ken) zal de hoeveelheid koolstofdioxide toenemen?
 - Waarvan zal afhangen of in bak 2 de hoeveelheid zuurstof toeneemt?
- 62** Bij een plant wordt gedurende tien uur de zuurstofopname of de zuurstofafgifte per uur gemeten. De eerste vijf uur staat de plant in het donker, de tweede vijf uur in het licht. Alle andere omstandigheden blijven tijdens deze proef gelijk. De resultaten zijn weergegeven in het diagram van afbeelding 41.
- Wat is in de eerste vijf uur de beperkende factor voor de fotosynthese?
 - Hoeveel zuurstof verbruikt de plant per uur bij de verbranding tijdens de eerste vijf uur?
 - Hoeveel zuurstof verbruikt de plant per uur voor de verbranding tijdens de tweede vijf uur?
 - Hoeveel bedraagt de zuurstofafgifte van de plant per uur tijdens de tweede vijf uur?
 - Hoeveel bedraagt dus de zuurstofproductie per uur door de fotosynthese tijdens de tweede vijf uur?
 - Hoeveel milliliter koolstofdioxide neemt deze plant op tijdens de tweede periode van vijf uur?



- 63** Een plant bevindt zich in een afgesloten ruimte. De verlichtingssterkte in de ruimte wordt gevarieerd. Alle andere omstandigheden blijven gelijk. Tijdens de proef wordt de hoeveelheid zuurstof in de afgesloten ruimte gemeten. Hieruit wordt berekend hoeveel zuurstof door de plant wordt afgegeven of opgenomen. De resultaten zijn in het diagram van afbeelding 42 weergegeven. Aangenomen wordt dat de intensiteit van de verbranding niet wordt beïnvloed door de verlichtingssterkte.
- Hoeveel bedraagt de zuurstofproductie door fotosynthese bij punt P?
 - Hoeveel bedraagt het zuurstofverbruik door verbranding bij punt P?

- c

Op een bepaald moment verbruikt de plant evenveel zuurstof bij de verbranding als hij produceert bij de fotosynthese. Dit punt heet het compensatiepunt.
Bij welk punt in afbeelding 42 ligt het compensatiepunt? Leg je antwoord uit.
- d

In welk gedeelte van de grafiek is de intensiteit van de verbranding groter dan de intensiteit van de fotosynthese? Kies uit:
 $PQ - PR - PS - QR - QS - RS$.
- e

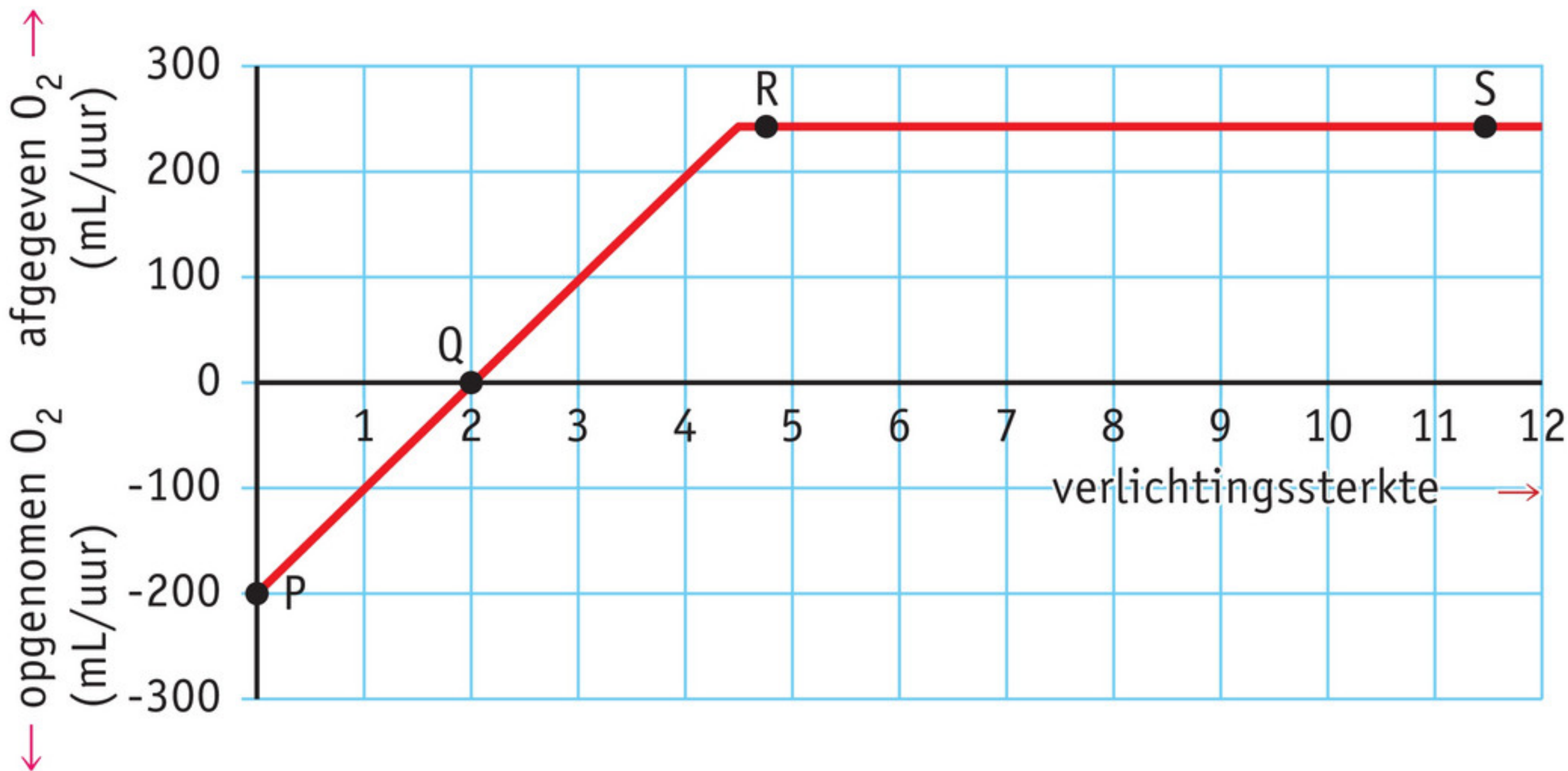
Wat is de beperkende factor voor de fotosynthese tussen P en R?
- f

Wat zouden de beperkende factoren tussen R en S kunnen zijn?
- g

Neem het diagram van afbeelding 42 over. Teken in het assenstelsel de grafiek van de zuurstofproductie bij de fotosynthese. Neem hierbij voldoende lengte voor de y-as.
- h

Geef de intensiteit van de fotosynthese weer in een vergelijking met daarin: intensiteit van de fotosynthese, zuurstofafgifte, zuurstofproductie en zuurstofverbruik.

► **Afb. 42** Invloed van de verlichtingssterkte op de zuurstofafgifte.



- 64

In het onderzoek van afbeelding 43 wordt de invloed van de temperatuur op de intensiteit van de fotosynthese bij een takje waterpest bepaald. Dit onderzoek geeft slechts globaal aan wat de invloed van de temperatuur is. Beschrijf een aanvullend onderzoek waarmee je de onderzoeksvraag in meer detail kunt beantwoorden.

▼ **Afb. 43**

ONDERZOEK		INVLOED VAN DE TEMPERATUUR OP DE FOTOSYNTHESE	
Inleiding	In de afbeelding is een proefopstelling weergegeven waarmee fotosynthese bij een takje waterpest kan worden onderzocht. Als de opstelling in het licht wordt geplaatst, ontstaan er gasbelletjes. Deze worden in de reageerbuis opgevangen.	proefopstelling voor fotosyntheseonderzoek 	
Onderzoeksvraag	Wat is de invloed van de temperatuur op de intensiteit van de fotosynthese?		
Hypothese	Bij stijgende temperatuur neemt de intensiteit van de fotosynthese toe.		
Experiment	– Een bekerglas wordt gevuld met 150 mL water op kamertemperatuur. Het takje waterpest wordt in de reageerbuis geschoven. – De reageerbuis wordt gevuld met water en ondersteboven in het bekerglas geplaatst (zie de afbeelding). De opstelling wordt belicht. – Geteld wordt het aantal gasbelletjes dat in een minuut opstijgt van de waterpest. – Het onderzoek wordt herhaald met warm water.		
Resultaat	Bij warm water worden per minuut meer gasbelletjes gevormd dan bij water op kamertemperatuur.		
Conclusie	Bij stijgende temperatuur neemt de intensiteit van de fotosynthese toe. De hypothese is bevestigd.		

CONTEXT

Leefwereld

CO₂ is beperkende factor voor concentratie

▼ **Afb. 44** CO₂-monitor voor een gezond klasklimaat.



Dat de luchtkwaliteit in een klaslokaal langzaam slechter wordt, merk je vaak niet als je er zelf middenin zit. Maar iemand die van buitenaf het lokaal binnenkomt, merkt het meteen. Hoe hoger de concentraties CO₂ en andere ongezonde stoffen in een ruimte, des te kleiner wordt het concentratievermogen van de mensen in die ruimte. De CO₂-concentratie is een indicator voor de luchtkwaliteit. In een slecht geventileerde ruimte vol mensen stijgt de CO₂-concentratie. Een groen plantenwandrek in de klas kan de CO₂-concentratie verlagen. Zeker als planten voldoende 'PAR'-licht (Photosynthetical Active Radiation) krijgen. Onafhankelijk van de beschikbare hoeveelheid licht brengen planten ook de concentratie formaldehyde omlaag. Volgens het Bouwbesluit mag de CO₂-concentratie in een klaslokaal niet boven de 1200 ppm uitkomen. Een CO₂-monitor in elk klaslokaal vergroot het bewustzijn van een gezond klasklimaat (zie afbeelding 44).

Bron: www.intogreen.nl.

opdrachten

- 65 Een slecht klasklimaat valt meer op als je van buiten komt dan als je er middenin zit.
 - a Leg uit hoe dat komt.
 - b Waardoor neemt de CO₂-concentratie toe in een slecht geventileerd lokaal vol leerlingen?
 - c Wat is er intussen gebeurd met de zuurstofconcentratie?
 - d Waarom is het niet altijd een oplossing om simpelweg een raam open te zetten voor betere ventilatie?
 - e De CO₂-concentratie in gemiddelde buitenlucht is ongeveer 0,04%. Hoeveel keer hoger is de norm van het Bouwbesluit in vergelijking met de CO₂-concentratie (in ppm) in de gemiddelde buitenlucht?
 - f Leg uit dat de hoeveelheid PAR-licht de beperkende factor is voor de afname van de CO₂-concentratie in de klas.
- 66 Met het programma Coach kun je de CO₂- en O₂-concentratie meten. Bouw de opstelling en bepaal het verloop van de CO₂- en O₂-concentratie in een afgesloten lokaal gedurende een lesuur, mét en zonder planten. Let op waar je de planten plaatst in het lokaal.
- 67 Ontwerp een plantenwandrek voor jouw klaslokaal. Houd daarbij rekening met plaatsing in de klas, plantkeuze, ruimtebenutting, aanschafkosten en onderhoud.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Doe online de verrijkingsstoffen, flitskaarten en Test Jezelf.
- Ga in het boek verder met de Samenhang en de Examentrainer.

Leerdoelen

- Je kunt de rol van stofwisseling in de rundveehouderij toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden evolutionair, ecologisch en vorm-functiedenken toepassen op de stofwisseling van runderen.

▼ Afb. 1 Koe met rugzak.



Koe neemt gas terug

Bij de vertering in het maag-darmkanaal van herkauwers ontstaat methaan, dat vooral via de bek maar ook via de anus ontsnapt. Een koe produceert per jaar ongeveer 175 kg methaangas. Methaangas is een sterker broeikasgas dan koolstofdioxide.

Het aandeel van de veehouderij in het versterkte broeikaseffect ligt tegen de 15%. Volgens de FAO (de Food and Agriculture Organization van de VN) is dat grotendeels toe te schrijven aan ontbossing ten behoeve van de veevoerproductie. Maar voor een aanzienlijk deel ligt het ook aan de methaanuitstoot. Het meeste methaan ontstaat bij de vertering in de pens van de koe. In de pens wordt vezelrijk voedsel afgebroken door middel van gisting. Daarbij ontstaan waterstofionen. Als waterstofionen ophopen, remt dat de vergisting. Bepaalde micro-organismen (archaea) verwijderen de waterstofionen. Ze laten het met CO_2 reageren tot methaan, dat vervolgens ontsnapt via de anus van de koe.

MINDER METHAAN

Methaan (CH_4 , aardgas, biogas) is een energierijk gas. Er zijn dan ook experimenten uitgevoerd om het koeiengas op te vangen in rugzakken (zie afbeelding 1). Bij de huidige gasprijs is dat echter niet rendabel. Het winnen van het gas uit een hele stal zou dat misschien wel kunnen zijn, maar dat levert weer explosiegevaar op. Ondertussen wordt van alles geprobeerd om de methaanuitstoot van koeien te verminderen.

Het toevoegen van methaanremmers aan het voer, zoals nitraat (NO_3), blijkt een afname van 15 tot 30% op te leveren. De onderzoekers hadden gehoopt dat die afname ten goede zou komen aan de melkproductie, maar dat was niet het geval. De dieren die methaanremmers kregen, groeiden wel sneller in vergelijking met de controlegroep.

VEZELS, ZETMEEL EN INKUILEN

Een andere mogelijkheid is om de dieren minder vezelrijk voedsel te geven. Je zou herkauwers meer in weiden met jong gras kunnen laten grazen. Jong gras is kort en heeft nog weinig lignine. Dat is de stof die de stengel verstevigt, maar die ook de verteerbaarheid van gras vermindert: hoe meer lignine, hoe meer methaan.

Verder kun je het aandeel zetmeel vergroten. In Nederland is daarom de afgelopen jaren meer snijmaïs door het voer gemengd. Maar te veel zetmeel is ook weer niet goed, want dan verzuurt de pens te veel en dat vertraagt de vertering.

Nog een maatregel is het goed inkuielen van het voer. Als je het gras te nat inkult, kan het gaan schimmelen. Bij beschimmeld voer verloopt de vergisting minder goed en neemt de koe minder voedingsstoffen uit het voer op. Dat is nadelig voor de melkproductie.

Door al deze maatregelen moet de methaanuitstoot van herkauwers met zeker 30 tot 40% terug te brengen zijn. Met anderhalf miljard koeien wereldwijd nemen die dan aardig wat gas terug.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

opdrachten

- 1 Neem de tabel over en vul de begrippen in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *archaeon – broeikaseffect – broeikasgas – gras – koe – lignine – methaangas – nitraat – ontbossing – pens – pensbacteriën – veevoerproductie – vergisting – voedselvertering – waterstof – zetmeel*.
- 2 Lignine is een polysacharide.
 - a Via welke organen heeft het gras de stoffen opgenomen om lignine te assimileren?
 - b Leg uit hoe vezelrijk veevoer door gisting wordt afgebroken.
 - c Aan welke voorwaarden moet zijn voldaan voor de vertering in de pens van de koe?
 - d Leg uit waardoor een toename van de concentratie waterstofionen de vergisting remt.
- 3 Verklaar dat het te gevaarlijk is om methaangas in een grote ruimte als een stal te verzamelen.
- 4 Als je melk verteert, komen aminozuren uit de melk in je lichaam.
 - a Van welke groep bouwstoffen in je lichaam gaan die aminozuren deel uitmaken?
 - b Wat gebeurt er in je lichaam met te veel opgenomen aminozuren?
 - c Melk bevat ook lactose (melksuiker). Lactose is het substraat van een enzym in ons verteringsstelsel dat lactose afbreekt tot een molecuul galactose en een molecuul glucose.
Welk verteringsenzym kan lactose afbreken? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 82G).
- 5 Om te kunnen bestaan, wisselen wij voortdurend stoffen en energie uit met onze omgeving.
 - a Vind je jezelf daardoor een geheel met je omgeving of toch een onafhankelijk individu?
 - b Inventariseer hoeveel klasgenoten zich een geheel voelen met de omgeving en hoeveel een onafhankelijk individu.
- 6 Een C-atoom wordt in een verbinding opgenomen door een grasplantje en uiteindelijk door jou uitgeademd.
Beschrijf in een logische volgorde de stofwisselingsprocessen in cellen en de organismen die dit C-atoom heeft doorlopen.
- 7 Het systeem gras, koe en bacteriën is in staat om het broeikasgas CO₂ om te zetten in methaan.
 - a Leg uit dat hierdoor het versterkte broeikaseffect toeneemt.
 - b Licht toe dat methaan uit milieuoogpunt beter kan worden verbrand dan ontsnappen naar de atmosfeer.
- 8 De onderzoekers hadden gehoopt dat de verminderde methaanproductie ten goede zou komen aan de melkproductie.
 - a Leg uit waardoor ze daarop hoopten.
 - b Bereken hoeveel ton methaan de koeien wereldwijd per jaar maximaal minder uitstoten als alle maatregelen werken.

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een aardappel
- een mes
- 2 erlenmeyers van 100 mL
- waterstofperoxideoplossing van 3% (pas op met morsen!)
- een maatcilinder van 10 mL

practicumopdracht 2

MATERIAAL

- afhankelijk van de methode

Practica

Waterstofperoxide en katalase

►► BASISSTOF 2

Waterstofperoxide (H_2O_2) ontstaat als bijproduct van verschillende reacties in cellen. Waterstofperoxide kan schade in cellen veroorzaken. Het is dan ook belangrijk dat het snel uit de cellen verdwijnt. Alle cellen bezitten het enzym katalase, dat waterstofperoxide omzet in water en zuurstof: $2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. In deze practicumopdracht onderzoek je wat de werking is van katalase.

METHODE

- Snijd een stukje aardappel in kleine blokjes en doe die in een van de erlenmeyers.
- Doe in beide erlenmeyers 10 mL waterstofperoxideoplossing.
- Voeg aan de erlenmeyer zonder aardappel water toe, totdat de inhoud van beide erlenmeyers gelijk is. Laat de erlenmeyers enkele minuten staan.
- Toon de ontstane zuurstof aan met een gloeiende houtspaander.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 1 Waaraan kun je zien dat waterstofperoxide onder invloed van de stukjes aardappel wordt gesplitst in water en zuurstof?

De invloed van de pH op de activiteit van katalase

►► BASISSTOF 2

De werking van katalase is afhankelijk van de temperatuur en van de pH. In deze practicumopdracht onderzoek je de activiteit van katalase bij verschillende pH's. Voer het onderzoek uit met twee personen. Maak een verslag van het onderzoek.

ONDERZOEKSVRAAG

Formuleer een passende onderzoeksvraag die het verband aangeeft tussen de pH en het effect dat je wilt meten.

HYPOTHESE

Formuleer een bondige en duidelijke hypothese die past bij je onderzoeksvraag.

METHODE

Ontwerp een experiment om de activiteit van katalase onder verschillende omstandigheden te meten. Zorg ervoor dat je meetmethode valide en betrouwbaar is, maar ook uitvoerbaar binnen de beschikbare tijd. Bedenk een goede manier om de activiteit van het enzym te meten. Zorg er ook voor dat de behandelingen vergelijkbaar zijn.

RESULTAAT

Verwerk de gemeten resultaten overzichtelijk in een tabel en/of in een grafiek.

practicumopdracht 3

MATERIAAL

- een plant waarvan de bladeren gedeeltelijk zijn afgedekt met aluminiumfolie en die achtereenvolgens 24 uur in het donker en 24 uur in het licht heeft gestaan
- bekers van 500 mL en van 100 mL
- ethanol of spiritus
- een pincet
- een kookplaatje of heetwaterbad (100 °C)
- petrischaaltjes
- joodoplossing
- tekenpapier, tekenmateriaal
- een timer

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 1 Wordt de hypothese bevestigd? Of kun je geen conclusie trekken?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vragen.

- 2 Op welke onderdelen is de proef anders verlopen dan gepland?
- 3 Hoe zouden de validiteit en de betrouwbaarheid van je onderzoek (nog verder) kunnen worden verbeterd?

De vorming van zetmeel in een blad

►► BASISSTOF 3

De glucose die bij fotosynthese ontstaat, wordt in bladeren van planten vrijwel onmiddellijk omgezet in zetmeel. Zetmeel kan worden aangetoond met een joodoplossing. Er treedt dan blauwkleuring op. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van licht op de vorming van zetmeel in een blad.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de invloed van belichting op de vorming van zetmeel in een blad?

HYPOTHESE

Alleen in delen van het blad die worden belicht, ontstaat zetmeel.

METHODE

- Pluk een gedeeltelijk afgedekt blad van de plant. Maak een tekening van dit blad. Breng intussen 250 mL water in het bekersglas van 500 mL aan de kook.
- Verwijder het aluminiumfolie van het blad. Dompel het blad een halve minuut in het kokende water. Het blad verliest dan zijn stevigheid. Doe de brander uit (veiligheid).
- Vul het bekersglas van 100 mL met 25 mL ethanol of spiritus.
- Haal met het pincet het blad uit het water. Doe het blad in het bekersglas met ethanol.
- Plaats het kleine bekersglas in het grote bekersglas. Het water in het grote bekersglas is nog heet genoeg om het ethanol of de spiritus aan de kook te brengen. Houd je hoofd niet boven het ethanol!
- Haal na enkele minuten het blad uit het ethanol. Het blad moet nu ontleurd zijn.
- Spreid het blad uit op de petrischaal. Druppel voorzichtig joodoplossing over het hele blad.

RESULTAAT

Hoe ziet het blad eruit na de behandeling? Maak een tekening van het blad.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 1 Vergelijk de delen van het blad die wel en niet belicht zijn. Welke conclusie kun je trekken?

practicumopdracht 4**MATERIAAL**

- 2 cilinderglazen met stop
- droge en geweekte erwten
- een kaars
- lucifers

Zuurstofverbruik door erwten

►► BASISSTOF 5

In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van droge en kiemende erwten op de zuurstofconcentratie.

ONDERZOEKSVRAAG

In welke van de twee cilinders blijft de kaars het langst branden?

HYPOTHESE

Formuleer een passende hypothese bij de onderzoeksvraag.

METHODE

Beschrijf een methode om de onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden.

RESULTAAT

Noteer in welk cilinderglas de kaars langer blijft branden.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 1 Welke conclusie kun je trekken uit deze proef?

practicumopdracht 5**MATERIAAL**

- een spirometer
- een personenweegschaal
- een rekenmachine

De intensiteit van de basale stofwisseling

►► BASISSTOF 6

Bij elk organisme vindt voortdurend stofwisseling plaats. Bij dieren en mensen is het zuurstofverbruik een maat voor de intensiteit van de dissimilatie. In deze practicumopdracht onderzoek je de intensiteit van de dissimilatie in rust bij meisjes en jongens.

ONDERZOEKSVRAAG

Is de intensiteit van de basale stofwisseling bij een meisje hoger dan, lager dan of gelijk aan die van een jongen?

HYPOTHESE

Er is geen verschil in de basale stofwisseling van meisjes en jongens.

METHODE

Bepaal met behulp van de spirometer het totale ademvolume gedurende een minuut van een meisje en een jongen in rust.

- Stel de spirometer op nul. Laat elke proefpersoon gedurende een halve minuut uitademen door de spirometer.
- Noteer de totale hoeveelheid uitgeademde lucht.
- Bepaal het gewicht van de proefpersonen.
- Bereken de hoeveelheid verbruikte zuurstof per minuut in liter. Ingeademde lucht bevat, afgerond, 20% zuurstof. Ga ervan uit dat een kwart van de zuurstof in de ingeademde lucht wordt verbruikt.
- Bereken de intensiteit van de stofwisseling in $L(O_2) \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ bij een meisje en bij een jongen.

practicumopdracht 6

MATERIAAL

- een takje waterpest van 5 cm lang
- een bekerglas van 250 mL
- een reageerbuis
- een felle lamp
- een thermometer
- 150 mL water op kamertemperatuur
- 150 mL water met een temperatuur van 40 °C
- 150 mL koolzuurhoudend water op kamertemperatuur

▼ **Afb. 1** Proefopstelling voor fotosyntheseonderzoek.



RESULTAAT

Noteer de uitslag van de spirometer en de berekening bij een meisje en bij een jongen.

CONCLUSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 1 Welke conclusie kun je trekken uit de vergelijking van de hypothese met de resultaten?

DISCUSSIE

Beantwoord de volgende vraag.

- 2 Op welke manieren zou je het resultaat van de metingen betrouwbaarder kunnen maken? Noteer er twee.

De intensiteit van de fotosynthese

► BASISSTOF 6

In afbeelding 1 is een proefopstelling weergegeven waarmee fotosynthese kan worden onderzocht. Als de opstelling in het licht wordt geplaatst, ontstaan er gasbelletjes. Deze worden in de reageerbuis opgevangen. In deze practicumopdracht onderzoek je de invloed van verschillende factoren op de intensiteit van de fotosynthese.

ONDERZOEKSVRAAG

Wat is de invloed van licht, temperatuur en de koolstofdioxideconcentratie op de intensiteit van de fotosynthese?

HYPOTHESE

Een hogere lichtintensiteit, temperatuur en koolstofdioxideconcentratie zorgen voor een sterkere fotosynthese.

METHODE

Maak een werkplan voor een experiment waarmee je de onderzoeksvraag kunt beantwoorden. Bekijk de materiaallijst en gebruik eventueel afbeelding 43 in basisstof 6.

RESULTAAT

Noteer je waarnemingen en zet de resultaten van je experiment uit in een tabel en/of grafiek.

CONCLUSIE

Formuleer op basis van je resultaten een conclusie.

DISCUSSIE

Maak een verslag van deze practicumopdracht.

Beantwoord in je verslag ook de volgende vragen.

- 1 Waarom wordt in dit onderzoek het aantal gasbelletjes per minuut genoteerd?
- 2 Waardoor is het aantal gasbelletjes per minuut in warm water (40 °C) hoger dan in water van kamertemperatuur?
- 3 Leg uit dat CO₂ in normaal water een beperkende factor is.
- 4 Wat is het verband tussen een sterkere fotosynthese en een hogere plantenopbrengst?

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt omschrijven wat stofwisseling, assimilatie en dissimilatie zijn en wat daarbij met de energie gebeurt.

- Stofwisseling: geheel van chemische processen in de cel.
 - Assimilatie: opbouw van organische moleculen uit kleinere moleculen. Hiervoor is energie nodig.
 - Dissimilatie: afbraak van organische moleculen tot kleinere moleculen. Hierbij komt energie beschikbaar.
- Koolstofassimilatie: de vorming van glucose uit koolstofdioxide en water.
 - Alleen autotrofe organismen zijn in staat tot koolstofassimilatie.
 - Fotosynthese: koolstofassimilatie met behulp van lichtenergie.
- Voortgezette assimilatie: vorming van koolhydraten, vetten, eiwitten en DNA uit glucose.
 - Bij voortgezette assimilatie ontstaan grote organische moleculen met energierijke bindingen.
 - Resultaat: vorming van de organische stoffen waaruit cellen bestaan.
 - De koolwaterstofbinding (C–H) is energierijk.
- Dissimilatie: chemische energie uit stoffen komt beschikbaar voor processen in cellen.
- In cellen wordt chemische energie getransporteerd door ATP (adenosinetriphosfaat).
 - Bij afsplitsing van een fosfaatgroep van ATP ontstaat ADP en komt energie beschikbaar.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de bouw en werking van enzymen beschrijven.

- Enzymen katalyseren stofwisselingsreacties zonder daarbij zelf te worden verbruikt.
- Enzymen zijn eiwitmoleculen met een specifieke ruimtelijke structuur.
 - De reactie vindt plaats in het actieve centrum.
 - Het substraat is de stof waarop een enzym inwerkt.
 - Het substraatmolecuul past in het actieve centrum.
- Enzymatische reacties zijn vaak evenwichtsreacties: ze kunnen in twee richtingen verlopen.
- Een enzym wordt meestal genoemd naar het substraat: met het achtervoegsel -ase.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 2

Je kunt de invloed van milieufactoren op de enzymactiviteit beschrijven.

- Enzymactiviteit: de hoeveelheid substraat die per tijdseenheid wordt omgezet.

- Temperatuur: beïnvloedt de enzymactiviteit volgens een optimumkromme.
 - Boven de optimumtemperatuur verliezen enzymmoleculen hun specifieke ruimtelijke structuur.
 - De invloed van de temperatuur op de enzymactiviteit is onomkeerbaar.
- Zuurgraad (pH): beïnvloedt de enzymactiviteit volgens een optimumkromme.
 - De pH van een zure oplossing is lager dan 7.
 - De pH van een basische oplossing is hoger dan 7.
 - De ruimtelijke structuur van enzymmoleculen blijft alleen bij de optimale pH in stand.
 - De invloed van de pH op de enzymactiviteit is omkeerbaar.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 3

Je kunt de fotosynthese beschrijven.

- Fotosynthese:
 - koolstofdioxide + water → glucose + zuurstof
 - $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$
- Fotosynthese vindt plaats in bladgroenkorrels.
 - Bladgroen: pigment dat lichtenergie kan absorberen.
 - In cellen van planten, algen en sommige bacteriën.
 - Lichtenergie wordt gebruikt voor vorming van ATP en splitsing van water in waterstof en zuurstof.
 - Waterstof en ATP worden samen met koolstofdioxide gebruikt voor de vorming van glucose.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 4

Je kunt de voortgezette assimilatie beschrijven.

- De energiebron voor voortgezette assimilatie is ATP.
- Assimilatie van koolhydraten:
 - Twee monosachariden (bijv. glucose, fructose) vormen samen een disacharide (bijv. sacharose).
 - Vele monosachariden vormen samen een polysacharide (bijv. zetmeel, glycogeen, cellulose).
 - Koolhydraatreserve: bij planten zetmeel, bij dieren glycogeen.
- Assimilatie van eiwitten.
 - Eiwitten zijn ketens van aminozuren. Er zijn twintig verschillende aminozuren.
 - Primaire structuur: typen en volgorde van aminozuren in het eiwit.
 - Secundaire structuur of helix: specifieke ruimtelijke vorm van het eiwit.
 - Planten kunnen aminozuren opbouwen uit glucose en stikstofhoudende ionen, vooral nitraationen (NO_3^-).
 - Dieren kunnen alleen aminozuren opbouwen uit andere aminozuren.
- Assimilatie van vetten.
 - Triglyceride: glycerol en drie vetzuren.
 - Fosfolipide: glycerol, twee vetzuren en een fosfaatgroep.

- Vetten worden opgeslagen als reservebrandstof.
- Celmembranen zijn opgebouwd uit fosfolipiden.
- Vetzuurstaarten zijn hydrofoob (waterafstotend).
- De fosfaatgroep van een fosfolipide is hydrofiel (waterminnend).
- Opslag van assimilatieproducten in planten:
 - Omzetting van glucose in zetmeel voorkomt dat de osmotische waarde van bladcellen te veel stijgt.
 - Reservestoffen: opslag in ondergrondse delen (wortels, knollen, bollen) en in zaden.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 5**Je kunt de aerobe en anaerobe dissimilatie van glucose beschrijven.**

- Dissimilatie van glucose levert de energie voor de vorming van ATP.
- Aerobe dissimilatie van glucose: verbranding.
 - De verbranding vindt plaats in mitochondriën.
 - glucose + zuurstof → koolstofdioxide + water + ATP

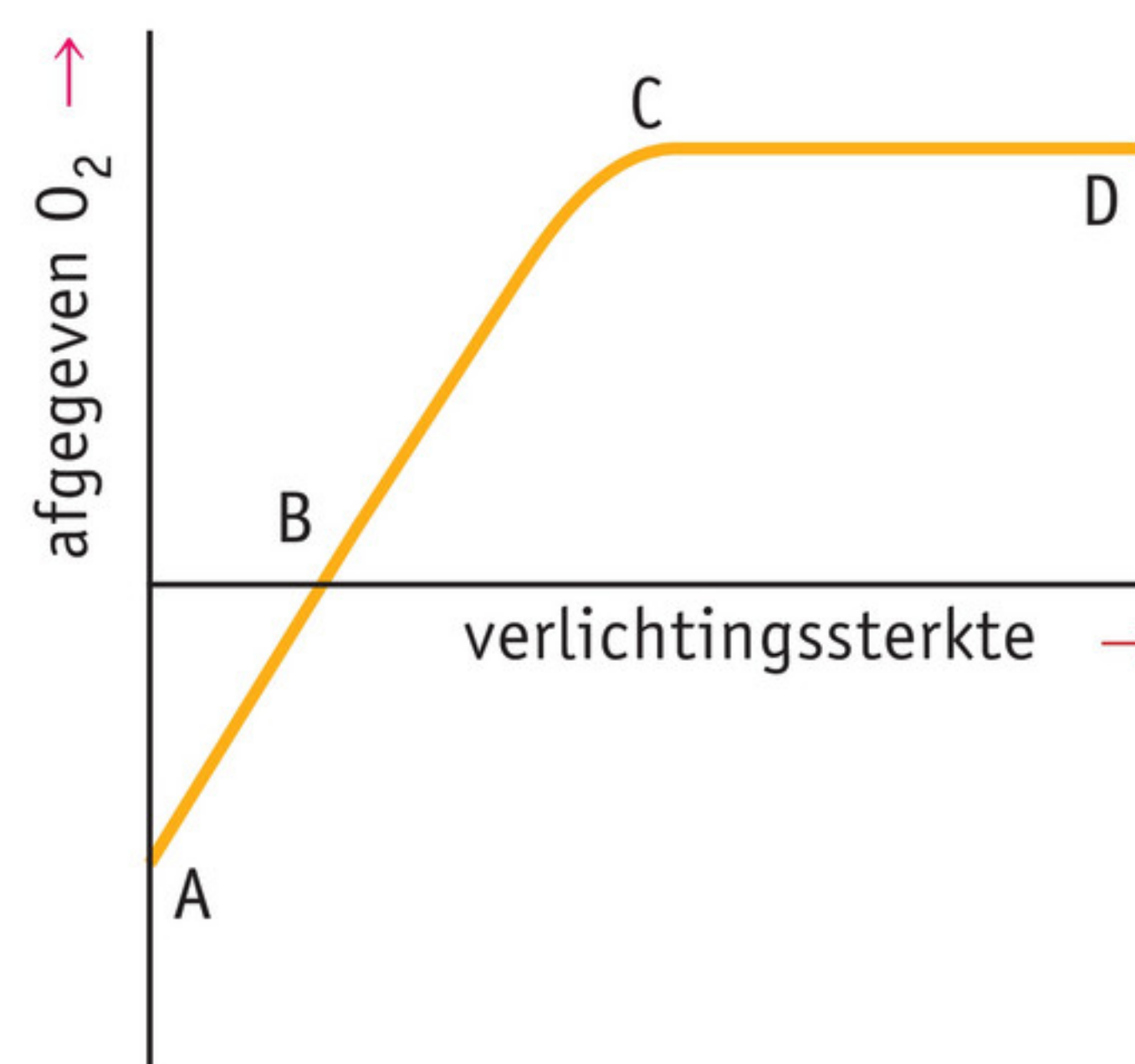
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + 30 \text{ATP}$$
- Anaerobe dissimilatie van glucose: gisting.
 - Per glucosemolecuul worden slechts twee ATP-moleculen gevormd.
 - Energierijke eindproducten: alcohol of melkzuur.
- Alcoholgisting: glucose wordt omgezet in alcohol (ethanol) en CO_2 .
 - $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{O} + 2 \text{CO}_2 + 2 \text{ATP}$
- Melkzuurgisting: glucose wordt omgezet in melkzuur.
 - $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3 + 2 \text{ATP}$
 - Melkzuurgisting vindt plaats in spieren wanneer in korte tijd veel energie moet worden geleverd.
- In de biotechnologie wordt gebruikgemaakt van de stofwisseling van micro-organismen.
 - Alcoholgisting wordt toegepast bij de bereiding van bier, wijn en brood.
 - Melkzuurgisting wordt toegepast bij de bereiding van kaas, yoghurt en zuurkool.
 - Genetische modificatie van micro-organismen: bijv. voor de productie van biobrandstof.

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 5**Je kunt de dissimilatie van eiwitten en vetten beschrijven.**

- Afbraak van eiwitten.
 - Eiwitten worden gesplitst in aminozuren.
 - Van de aminozuren wordt de aminogroep afgesplitst en omgezet in ammoniak.
 - De overblijvende koolstofketen wordt omgezet in een andere stof en verbrand in de mitochondriën.
- Afbraak van vetten.
 - Vetten worden gesplitst in glycerol en vetzuren.
 - Glycerol en vetzuren kunnen worden omgezet in andere stoffen en verbrand in de mitochondriën.

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 6**Je kunt de voorwaarden voor het fotosyntheseproces in planten benoemen.**

- Intensiteit van de stofwisseling:
 - verbruik van O_2 en productie van CO_2 ;
 - door verbranding (mensen) en fotosynthese (planten).
- Intensiteit van de fotosynthese is afhankelijk van:
 - factoren licht, water, CO_2 , bladgroen en temperatuur.
 - De minst beschikbare factor is de beperkende factor.
- Intensiteit van de fotosynthese bepalen:
 - in het donker: meten O_2 -opname (of CO_2 -afgifte);
 - in het licht: meten O_2 -afgifte (of CO_2 -opname);
 - O_2 -productie = O_2 -opname + O_2 -afgifte;
 - CO_2 -verbruik = CO_2 -afgifte + CO_2 -opname.
- Bij afbeelding 1:
 - tussen A en C: licht is de beperkende factor;
 - tussen A en B: intensiteit van de verbranding is hoger dan intensiteit van de fotosynthese;
 - compensatiepunt B: intensiteit van de verbranding is gelijk aan intensiteit van de fotosynthese;
 - tussen B en D: intensiteit van de verbranding is lager dan intensiteit van de fotosynthese.

▼ Afb. 1 Intensiteit van de fotosynthese.**COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN**

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken van informatie;
- mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen;
- analyseren welke rol de stofwisseling heeft in natuurwetenschappelijk onderzoek;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- evalueren van een natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, bewerken en overzichtelijk weergeven van data;
- vorm-functiedenken op het niveau van moleculen.

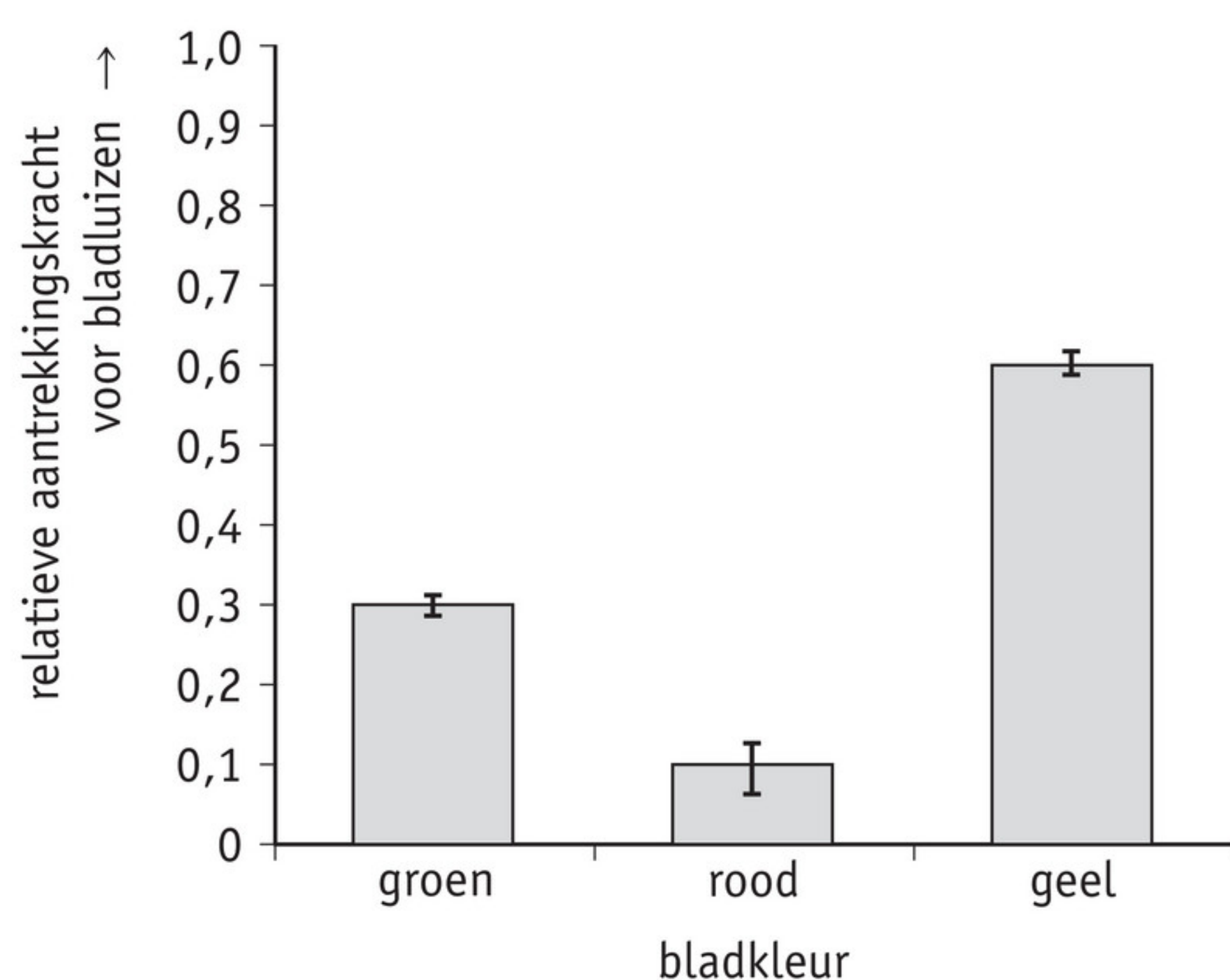
Examentrainer

HERFSTROOD

Bron: examen havo 2015-1, vraag 39 tot en met 42.

Een loofbos kan in de herfst dieprood kleuren. Het is duidelijk waardoor bladeren geel worden: het bladgroen wordt afgebroken waarbij gele kleurstoffen ontstaan. Het rode pigment anthocyaan maakt de boom in de herfst speciaal aan. En dat is vreemd, want even later dwarrelen diezelfde bladeren met de herfstwind weg. Sommige biologen menen dat bomen waarvan de bladeren rood kleuren, onaantrekkelijk worden voor bladluizen. Die insecten leggen in de herfst hun eitjes in de bladoksels van bomen. In de lente komen daaruit nieuwe luizen tevoorschijn die schadelijk zijn voor de boom, zeker aan het begin van het groeiseizoen. Andere biologen bestrijden deze theorie. De ogen van bladluizen hebben volgens hen geen fotoreceptoren voor de kleur rood, dus volgens hen ziet een bladluis het verschil tussen een rood en een groen blad niet. Volgens deze biologen is de productie van anthocyaan in bladeren een reactie op stress. Britse biologen hebben de kleurvoorkeur van bladluizen in de herfst in kaart gebracht. Dat deden ze door een aantal vallen in verschillende kleuren te verven en buiten neer te zetten. In totaal vingen ze in twee weken 2109 bladluizen. De resultaten van het onderzoek staan in afbeelding 1. Uit het resultaat blijkt dat bladluizen wel degelijk het verschil tussen rood en groen kunnen waarnemen.

▼ **Afb. 1** Aantrekkingskracht voor bladluizen.



De herfstkleuren geel en rood ontstaan door assimilatie of door dissimilatie van pigmenten. Hierover worden vier beweringen gedaan:

- 1 De kleur geel ontstaat doordat chlorofyl wordt geassimileerd.
- 2 De kleur geel ontstaat doordat chlorofyl wordt gedissimileerd.
- 3 De kleur rood ontstaat doordat anthocyaan wordt geassimileerd.
- 4 De kleur rood ontstaat doordat anthocyaan wordt gedissimileerd.

2p 1 Welke van deze beweringen zijn juist?

- A alleen 1 en 3
- B alleen 1 en 4
- C alleen 2 en 3
- D alleen 2 en 4

In de tekst staan zowel hypothesen, resultaten als conclusies.

1p 2 Geef een voorbeeld van een hypothese uit de tekst.

3p 3 Leg uit, aan de hand van de informatie uit de tekst, dat in de loop van de evolutie steeds meer boomsoorten anthocyaan zijn gaan produceren.

Planten hebben twee typen vaten om stoffen door wortel, stengel en bladeren te vervoeren: hout- en bastvaten.

2p 4 Welk van deze typen vaten boren bladluizen aan om aan energierijke stoffen te komen? Zijn dit dan anorganische of organische stoffen?

- A bastvaten, om anorganische stoffen op te nemen
- B bastvaten, om organische stoffen op te nemen
- C houtvaten, om anorganische stoffen op te nemen
- D houtvaten, om organische stoffen op te nemen

BLOEMEN EN BIJTJES

Bron: examen havo 2013-2, vraag 10 tot en met 14.

Veel planten hebben bijen nodig om stuifmeel van de ene naar de andere bloem te brengen. Maar daar gaat het bijen niet om. Bijen bezoeken bloemen niet om stuifmeel van de ene bloem naar de andere te brengen, maar om voedsel te verzamelen. De koolhydraten, aminozuren, vitaminen en sporenelementen die een bij nodig heeft, worden door de bloem geleverd in de vorm van nectar en stuifmeel. Bijen zijn afhankelijk van bloemen om te kunnen overleven.

2p 5 Hoe wordt de symbiotische relatie tussen bijen en planten genoemd?

- A commensalisme
- B coöperatie
- C mutualisme
- D parasitisme

Stuifmeel is rijk aan eiwitten, vetten en suikers. Nectar bestaat uit water en glucose. Bijen bewerken nectar tot lang houdbare glucoserijke honing. Onbewerkt stuifmeel zou in een bijenkast meteen beschimmelen. Bijen maken er daarom 'bijenbrood' van: lang houdbare stuifmeelbrokken verpakt in een laagje honing.

- 2p 6 Welke stof of welke stoffen heeft een plant nodig om nectar te maken?
- A alleen CO_2
 - B alleen H_2O
 - C alleen NO_3
 - D alleen CO_2 en H_2O
 - E alleen CO_2 en NO_3
 - F CO_2 , H_2O en NO_3

In planten kunnen de volgende processen voorkomen:

- 1 koolstofassimilatie;
- 2 stikstofassimilatie;
- 3 eiwitsynthese;
- 4 gisting.

- 2p 7 Welke processen vinden in een plant plaats om de vorming van stuifmeel mogelijk te maken?
- A alleen 1 en 2
 - B alleen 1 en 3
 - C alleen 1 en 4
 - D alleen 1, 2 en 3
 - E alleen 1, 2 en 4
 - F alleen 2, 3 en 4

Bijenbrood maakt het stuifmeel langer houdbaar doordat het honinglaagje schimmelsporen verhindert uit te groeien tot schimmeldraden. Bij het conserveren van jam doen wij eigenlijk hetzelfde door suiker aan de vruchten toe te voegen.

- 2p 8 Leg uit waardoor het laagje honing om de stuifmeelbrokken verhindert dat er schimmel groeit.

Een bijenvolk dat het meeste voedsel verzamelt, heeft de beste overlevingskansen. Voor bijen is het daarom gunstig om bloemen te vinden met zo veel mogelijk nectar en stuifmeel. Maar voor de plant is het juist voordelig dat er per bloem zo min mogelijk nectar en stuifmeel wordt aangeboden.

- 2p 9 Leg uit waardoor dit voor de plant meer voortplantingskansen biedt.

OP TWAALF KERSTBOMEN NAAR PARIJS RIJDEN!

Bron: examen havo 2013-1, vraag 34 tot en met 37.

Op twaalf kerstbomen naar Parijs rijden. Als het proces waar nu nog aan wordt gewerkt gereed is, kan houtafval een interessante bron worden voor de bereiding van ethanol. Daarop kunnen auto's op een milieuvriendelijker manier rijden dan op benzine, diesel of gas. Men verwacht dat dit binnen een aantal jaren mogelijk is. De moeilijkheid was om de organische moleculen, die in het houtafval aanwezig zijn, met behulp van schimmels snel om te zetten. Op dit moment heeft men de enzymen die cellulose en houtstof omzetten in suikers, wel in handen. Bij de vergisting van deze suikers ontstaat ethanol. Er wordt al bio-ethanol verkregen uit koolhydraten die in voedingsgewassen zoals tarwe, maïs en suikerbieten zitten. Maar de weerstand tegen het gebruik van voedingsgewassen voor het verkrijgen van bio-ethanol wordt steeds groter.

- 2p 10 Leg uit waardoor het gebruik van fossiele brandstof wel bijdraagt aan een versterkt broeikaseffect en het gebruik van bio-ethanol uit kerstbomen niet.

- 1p 11 Waardoor komt er steeds meer weerstand om voedingsgewassen om te zetten in bio-ethanol die als autobrandstof wordt gebruikt?

Om de koolhydraten om te zetten in ethanol, wordt gebruikgemaakt van gistcellen. Er is een groot verschil tussen de gistsoort die koolhydraten uit voedingsmiddelen omzet in ethanol en de gistsoort die houtafval gebruikt. Het is een Nederlandse firma gelukt om nieuwe gistvarianten te maken waardoor uit houtafval ethanol kan worden geproduceerd. Hiervoor moeten de gistcellen cellulose als substraat gebruiken.

- 2p 12 Wat heeft men aan de bestaande gistcellen veranderd om dit mogelijk te maken?
- A de enzymen, zodat ze in staat waren om cellulose om te zetten in plaats van zetmeel
 - B de genetische informatie, zodat er enzymen kunnen worden gemaakt die in staat zijn om cellulose om te zetten in plaats van zetmeel
 - C de ribosomen, zodat die enzymen maakten die cellulose konden omzetten in plaats van zetmeel
 - D het celmembraan, zodat de gistcellen in staat waren om cellulose op te nemen in plaats van zetmeel

2 DNA

Een DNA-molecuul bevat de code voor de erfelijke informatie van een organisme. De code levert de instructies voor de zelforganisatie, zelfregulatie en reproductie van een organisme. Bij celdeling wordt de erfelijke informatie doorgegeven aan dochtercellen. De erfelijke informatie in het DNA bepaalt hoe de eigenschappen in een organisme tot uiting komen. Door wijzigingen in het DNA kunnen erfelijke eigenschappen veranderen.

ONTDEKKEN	
Waarom komt ouderdom met gebreken?	50
BASISSTOF	
1 De bouw en functie van DNA	52
2 DNA-replicatie	58
3 Eiwitsynthese	63
4 Genexpressie	69
5 Mutaties	78
6 Biotechnologie	85
SAMENHANG	
Gendoping	90
VERRIJKINGSSTOFFEN	
Erfelijke ziekten en afwijkingen bij de mens	
Leren en werken	
Ideeën voor onderzoek	
PRACTICA	92
AFSLUITING	
Samenvatting	93
Flitskaarten	
Test Jezelf	
Examentrainer	96







‘Waarom zijn we niet onsterfelijk?’

Waarom komt ouderdom met gebreken?

►► BASISSTOF 2

Vrijwel iedereen wil oud worden, maar oud zijn vinden we in de regel minder aantrekkelijk. Terwijl de een geniet van zijn oude dag, breekt voor de ander een tijd aan van gebreken en eenzaamheid. Wereldwijd sterven honderdvijftigduizend mensen per dag. Daarvan sterven honderdduizend mensen aan ouderdomsgebreken.

Een schande, meent verouderingsonderzoeker Aubrey de Grey. Waarom laten we zo iets gebeuren, vraagt hij zich af. Is het aftakelingsproces dan iets onvermijdelijks, iets van een hogere orde wat we niet mogen verstoren? Waarom zijn we niet onsterfelijk?

Ook professor Andrea Maier verbaast zich erover. Als verouderingsonderzoeker werkt ze aan het Leids Universitair Medisch Centrum. Zij onderzoekt wat er precies in ons lichaam gebeurt waardoor we aftakelen en uiteindelijk doodgaan.

Delende cellen

Verouderingsonderzoeker Leonard Hayflick ontdekte in 1962 dat het aantal keren dat een cel zich kan delen, beperkt is. Dat aantal staat nu bekend als de Hayflick-limiet en heeft te maken met de lengte van de telomeren. Na vijftig delingen is de cel gedoemd te sterven: de

celkern valt uit elkaar, het DNA verbrokkelt en de cel verschrompelt. Een lichaam bestaat uit ongeveer $100 \cdot 10^{12}$ cellen. Daarvan sterven elke dag rond de $50 \cdot 10^9$ cellen. Dat zou betekenen dat er na vijfenhalf jaar geen cel meer over is.

Gelukkig beschikken de meeste weefsels, zoals dekweefsel, beenweefsel en spierweefsel, over stamcellen waaruit zich nieuwe cellen kunnen ontwikkelen. Dat betekent dat veel organen zichzelf kunnen herstellen. Dat geldt voor de huid, de botten en de spieren, maar ook voor de lever, de darmen en de longen. Ook bloedcellen worden steeds opnieuw aangemaakt. Helaas beginnen de stamcellen na je dertigste te verouderen. Schadelijke stoffen hopen zich op in de stamcellen en het DNA raakt beschadigd. Maar het is nog erger. Er zijn ook organen die niet beschikken over eigen stamcellen. En laten dat nu juist onze belangrijkste organen zijn: het hart en de hersenen. De slijtage van juist deze organen is de voornaamste oorzaak van onze ouderdomsproblemen. De cellen van

▼ Afb. 1 Aubrey de Grey.



▼ Afb. 2 Andrea Maier.



deze organen stoppen met delen, zodra de Hayflick-limiet wordt overschreden.

Ouderdomskwalen

Tot je dertigste gaat het goed. Daarna beginnen de cellen te verouderen wat uiteindelijk leidt tot ouderdomskwalen. Het afweersysteem gaat minder goed functioneren, waardoor de kans op infectieziekten en kanker toeneemt. De filterende werking van de nieren wordt minder, waardoor de zoutbalans in het lichaam uit evenwicht raakt met een hoge bloeddruk tot gevolg. In de darmen ontstaan poliepen en de spiermassa neemt af. Normaal wordt glucose in de vorm van glycogeen in de spieren opgeslagen. Door de afgenomen spiermassa blijft een deel van de glucose in het bloed. De kans op ouderdomsdiabetes neemt daardoor toe. Ouderen bewegen minder dan jonge mensen, waardoor het lichaamsgewicht toeneemt en gewrichten extra worden belast. Doordat zenuwcellen worden aangetast, wordt de reactiesnelheid minder. Ook de coördinatie wordt minder, doordat zenuwcellen in de kleine hersenen achteruitgaan. Het gevolg is dat ouderen meer kans hebben om te vallen. Doordat ouderen veelal minder buiten komen, komt de huid minder in aanraking met het zonlicht en wordt er minder vitamine D gevormd. Door het tekort aan vitamine D wordt er minder calcium in de botten opgenomen. Een valpartij leidt dan al gauw tot botbreuken.

Intussen gaat Andrea Maier door met haar onderzoek. 'Want als we weten wat de oorzaken zijn van veroudering, kunnen we er ook iets aan doen,' zegt ze. Toch zal het nog wel even duren voordat we honderdplussers een vogelnestje zien maken in de ringen.

opdrachten

De gemeente waar jij woont, vindt de fysieke en mentale gezondheid van senioren van groot belang. Ze wil dat ouderen zo lang mogelijk zelfstandig, onafhankelijk en gezond kunnen blijven wonen en leven.

Gezond en succesvol ouder worden gaat niet alleen om het voorkomen en uitstellen van ziekte en sterfte, stelt de gemeente. Het gaat ook om de preventie van beperkingen in het functioneren, het voorkomen van verlies van zelfredzaamheid en het terugdringen van afhankelijkheid van de zorg. Om dat te bereiken wil de gemeente eens per jaar voorlichting geven over veroudering. Daarnaast biedt de gemeente ouderen een individuele test aan. Aan de hand hiervan krijgen ouderen een op maat gesneden advies, zodat zij langer vitaal kunnen blijven. De gemeente heeft hiervoor een team samengesteld dat bestaat uit een sportconsulent, een verpleegkundige, een ergotherapeut, een diëtist en een maatschappelijk werker. Eén daarvan ben jij.

- 1 Voor de voorlichting hecht de gemeente eraan dat ouderen goed worden geïnformeerd over de oorzaken van veroudering en verschillende ouderdomsverschijnselen. Het zal de motivatie om de adviezen op te volgen vergroten. Bereid met elkaar een voorlichtingsavond voor over veroudering.
 - Kies zelf een vorm voor de presentatie.
 - Laat in elk geval de volgende begrippen terugkomen: mitose, chromatiden, DNA-replicatie, vrije DNA-nucleotiden, DNA-polymerase, S-fase en telomeren.
 - Leg uit hoe het komt dat cellen slechts vijftig keer kunnen delen.
- 2
 - a Maak een mindmap met elkaar over ouderdomsverschijnselen.
 - b Elk teamlid kiest een van de ouderdomsverschijnselen en werkt dit uit voor de presentatie. Leg uit welke gevolgen het verouderen van cellen heeft voor het betreffende orgaan en wat de relatie is met het ouderdomsverschijnsel.
 - c Elk teamlid bereidt een test voor die aansluit bij het gekozen ouderdomsverschijnsel. De test meet de vaardigheden van de ouderen. Bedenk hoe je de vaardigheid gaat meten en hoe je gaat beoordelen of iemand voldoende of onvoldoende presteert. Bespreek elkaars testen met elkaar en oefen ze eventueel met elkaar.
 - d Welke algemene adviezen kun je ouderen geven om langer vitaal te kunnen blijven?
- 3
 - a Ga na wat jouw gemeente daadwerkelijk doet op dit gebied.
 - b Wat is jullie mening hierover? Welke adviezen kun je de gemeente geven?

Misschien is het mogelijk dat jullie je presentatie aanbieden bij de gemeente.

Leerdoel

- Je kunt de bouw en functies van DNA beschrijven.

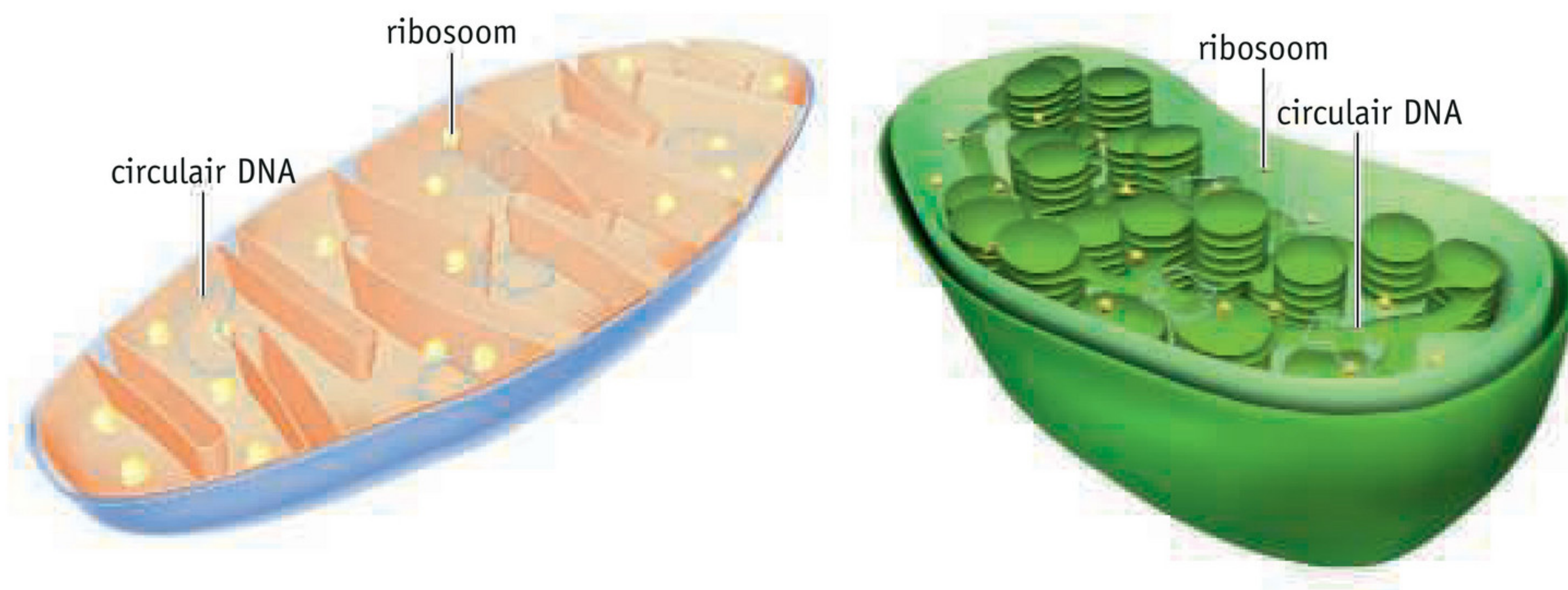
1 De bouw en functie van DNA

Tussen het DNA van twee organismen van dezelfde soort bestaan veel overeenkomsten. Van het DNA in de chromosomen bij mensen komt 99,5% overeen. Toch zijn mensen heel verschillend.

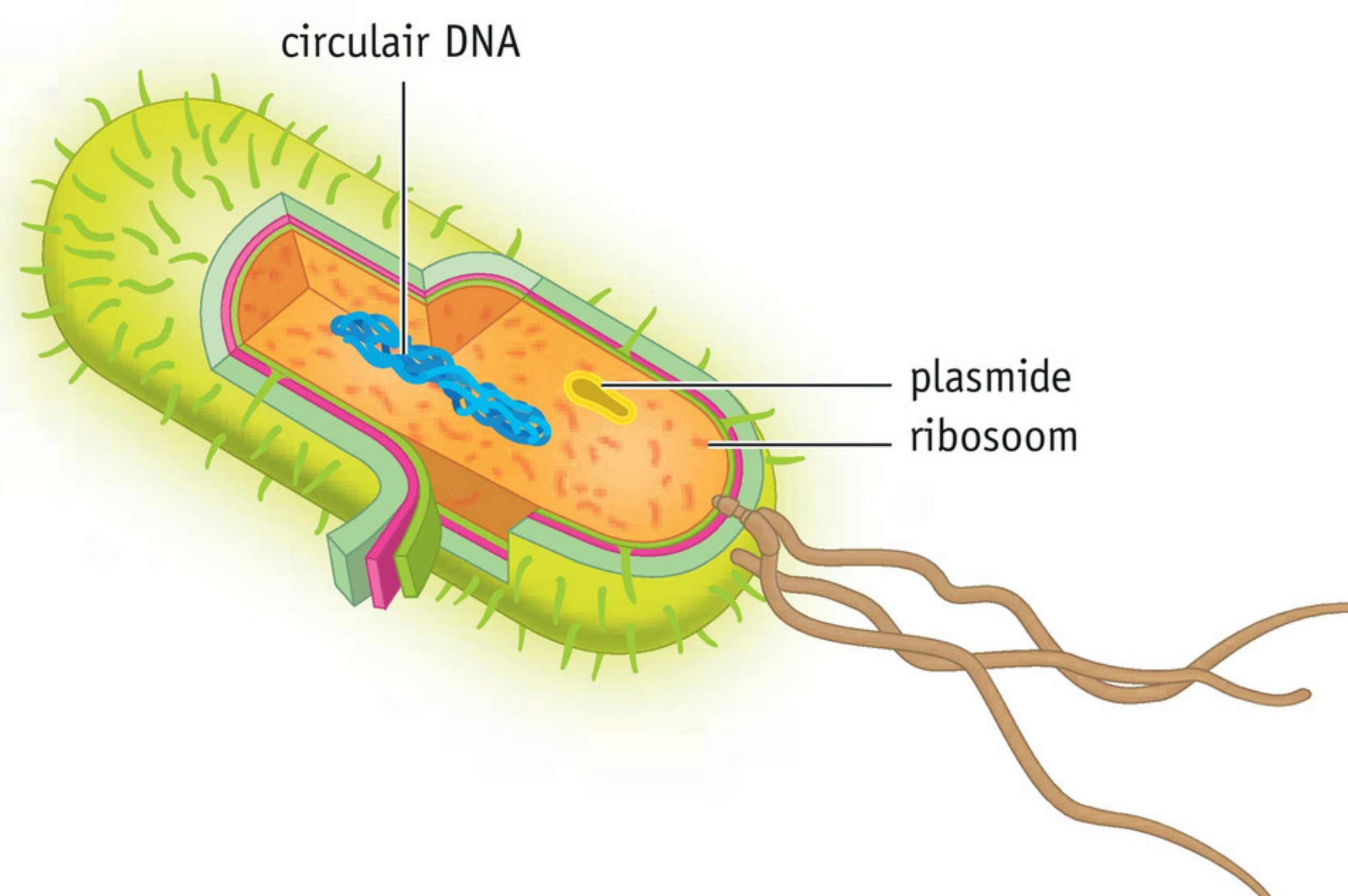
HET GENOOM

Je lichaam is opgebouwd uit veel verschillende cellen die verschillende functies hebben. Bijna elke cel heeft een celkern met daarin **DNA** (desoxyribonucleïnezuur) dat de informatie voor je erfelijke eigenschappen bevat. Het DNA bepaalt de functie van een cel en levert de instructies waarmee ribosomen in de cel verschillende soorten eiwitten kunnen synthetiseren. De bouw van een eiwit bepaalt de eigenschappen en functie(s) van het eiwit. Enkele eiwitten zijn bijvoorbeeld verantwoordelijk voor de kleur van je ogen, je bloedgroep en je lichaamslengte. Het geheel aan erfelijke informatie in een cel van een organisme noem je het **genoom**. Alle cellen van een organisme hebben hetzelfde genoom. Bij eukaryoten omvat het genoom het DNA in alle chromosomen in de celkern (**kernDNA**) en het DNA in mitochondriën (**mtDNA**) en bladgroenkorrels (zie afbeelding 1). Mitochondriën en bladgroenkorrels functioneren onafhankelijk van de rest van de cel. Ze gebruiken hiervoor de informatie die vastligt in hun eigen DNA. Bij prokaryoten vormt al het DNA dat los in het cytoplasma van de cel voorkomt het genoom. Prokaryoten hebben een circulair DNA-molecuul. Sommige prokaryoten bezitten **plasmiden**: korte stukjes circulair DNA (zie afbeelding 2).

▼ **Afb. 1** Mitochondriën en bladgroenkorrels bezitten hun eigen DNA.



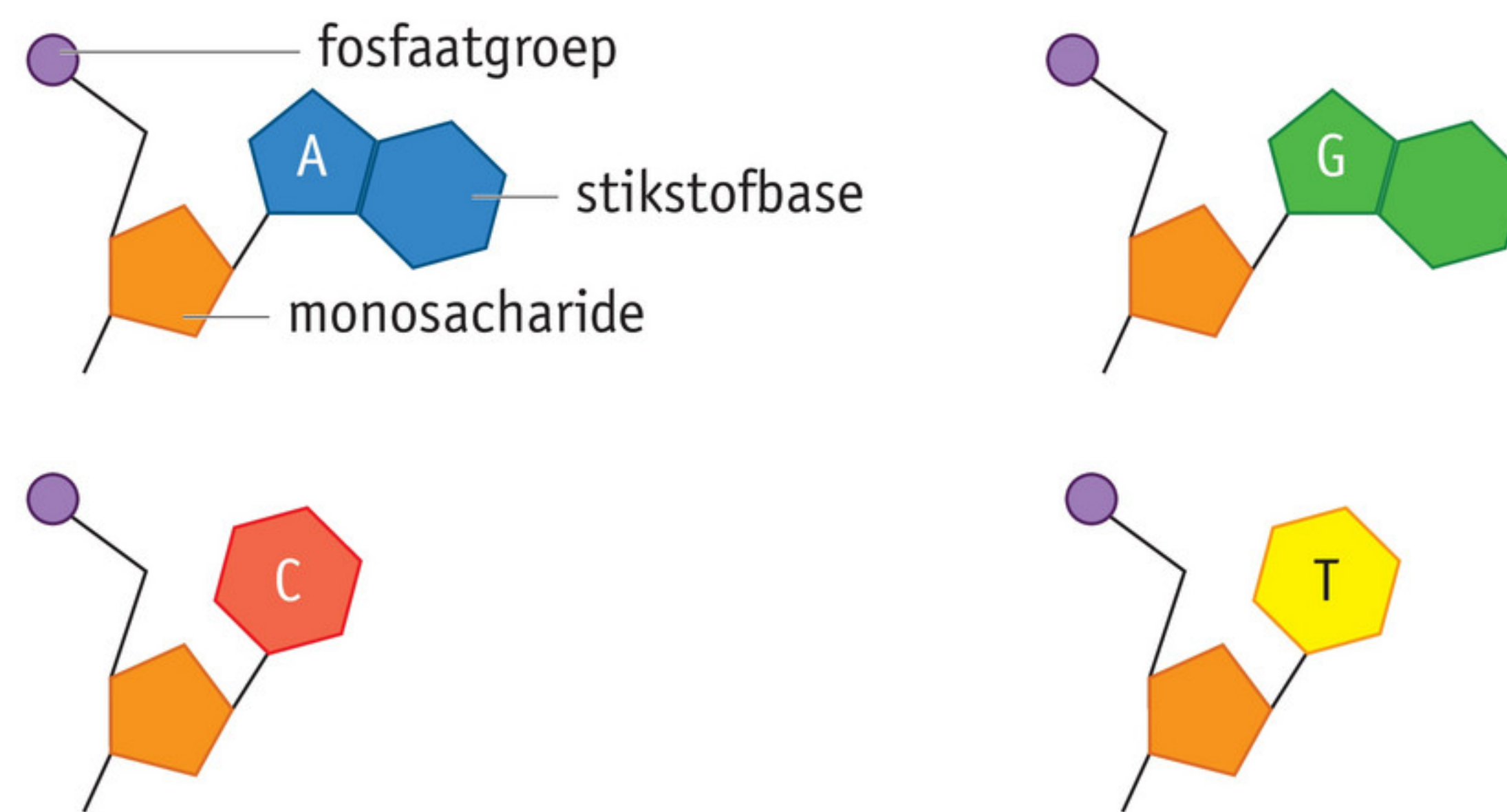
► **Afb. 2** Een bacterie met een circulair DNA-molecuul en plasmiden.



DE BOUW VAN DNA

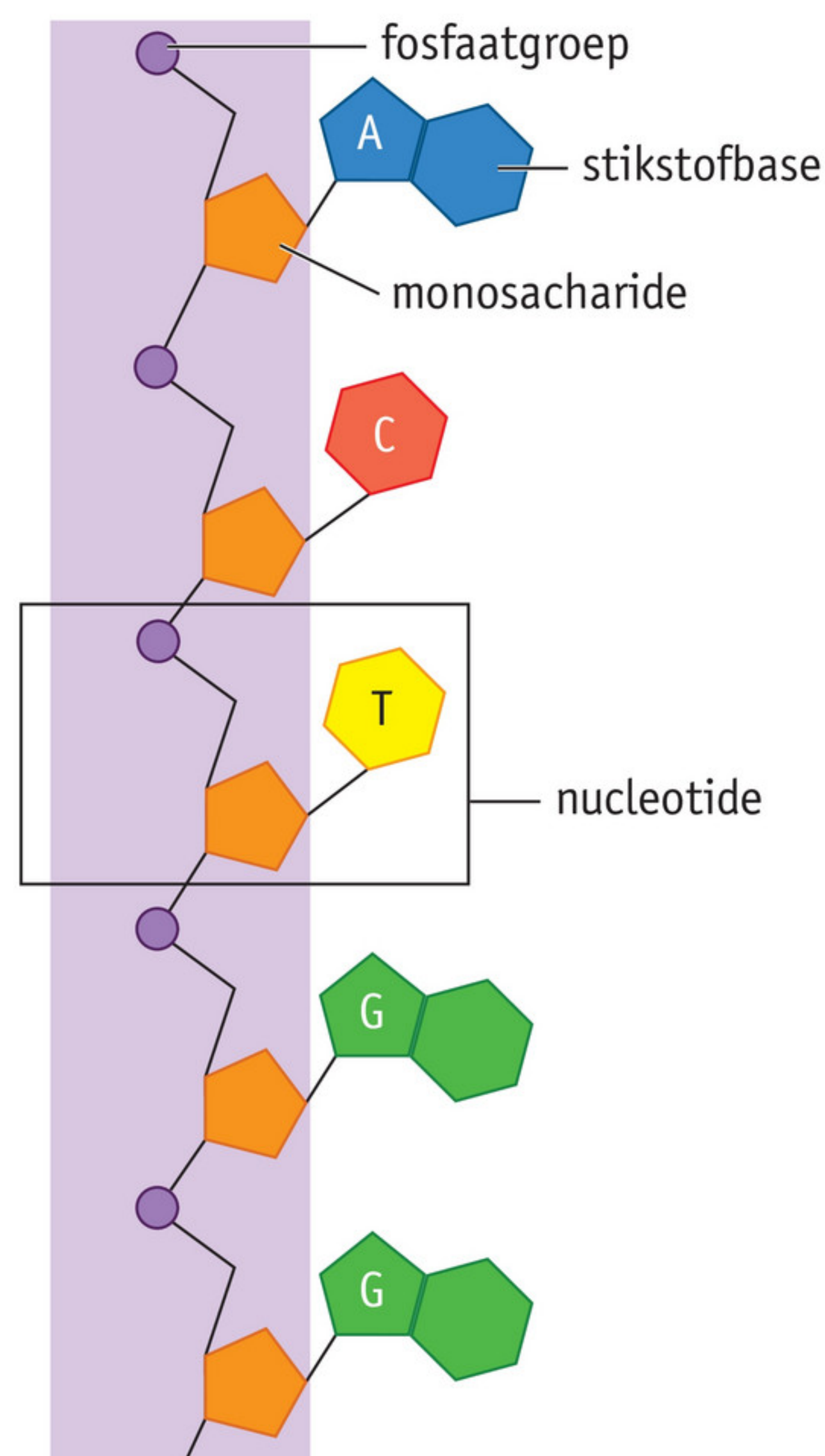
Een DNA-molecuul is een **nucleïnezuur**. Nucleïnezuren werden voor het eerst ontdekt in een celkern (nucleus). Later bleek dat ook in het cytoplasma nucleïnezuren voorkomen. DNA bestaat uit twee ketens van aan elkaar gekoppelde nucleotiden. Een **nucleotide** is opgebouwd uit de monosacharide **desoxyribose**, een fosfaatgroep en een stikstofbase (zie afbeelding 3). De stikstofbasen die in DNA-moleculen voorkomen, zijn **adenine** (A), **thymine** (T), **cytosine** (C) en **guanine** (G).

► **Afb. 3** Nucleotiden in DNA.



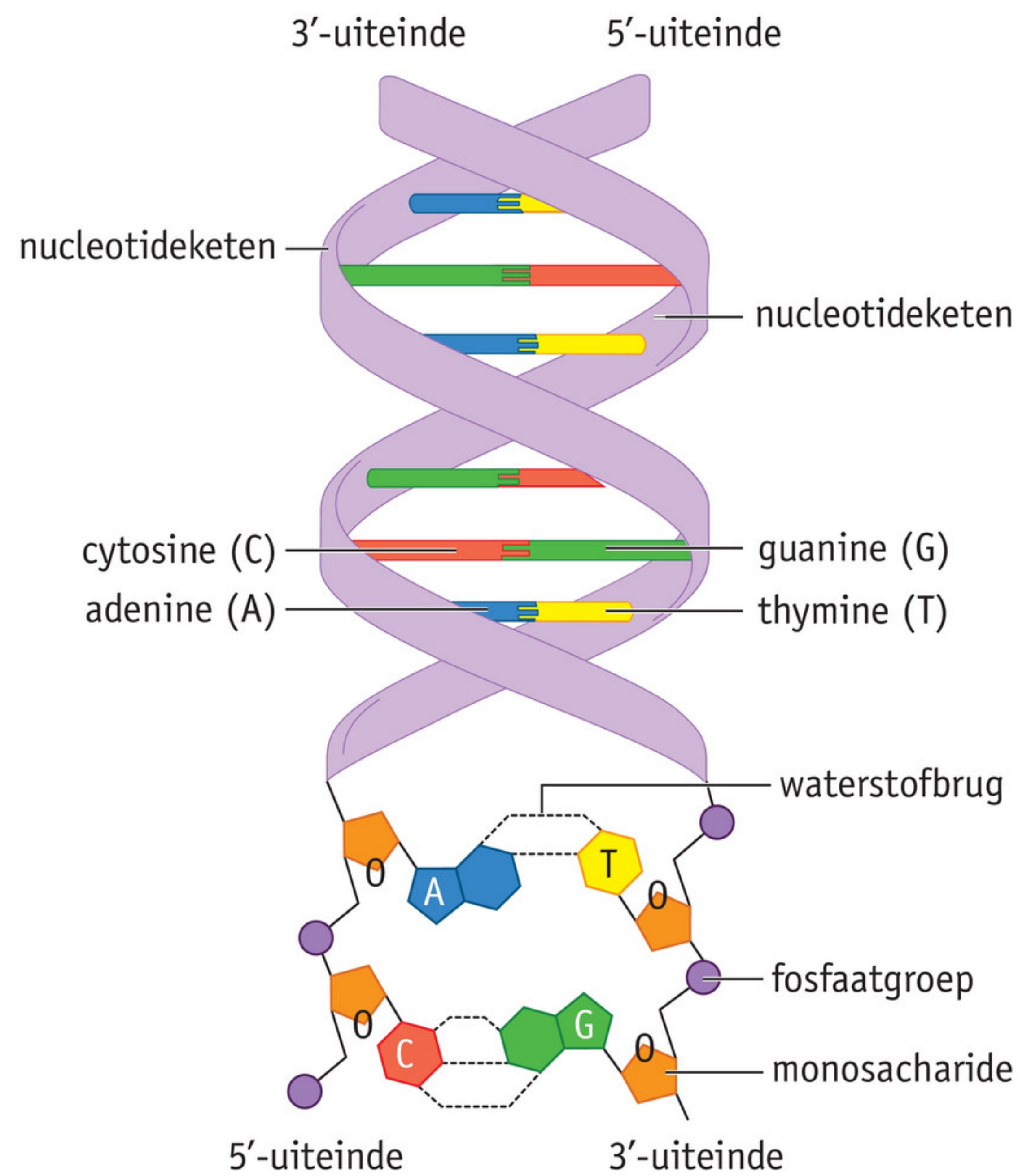
Bij het aan elkaar koppelen van nucleotiden gaat desoxyribose een binding aan met de fosfaatgroep van het volgende nucleotide. Zo ontstaat een lange keten van afwisselend aan elkaar gekoppelde monosachariden en fosfaatgroepen. Zo'n keten noem je **enkelstrengs DNA** (zie afbeelding 4).

► **Afb. 4** Aan elkaar gekoppelde nucleotiden in enkelstrengs DNA.

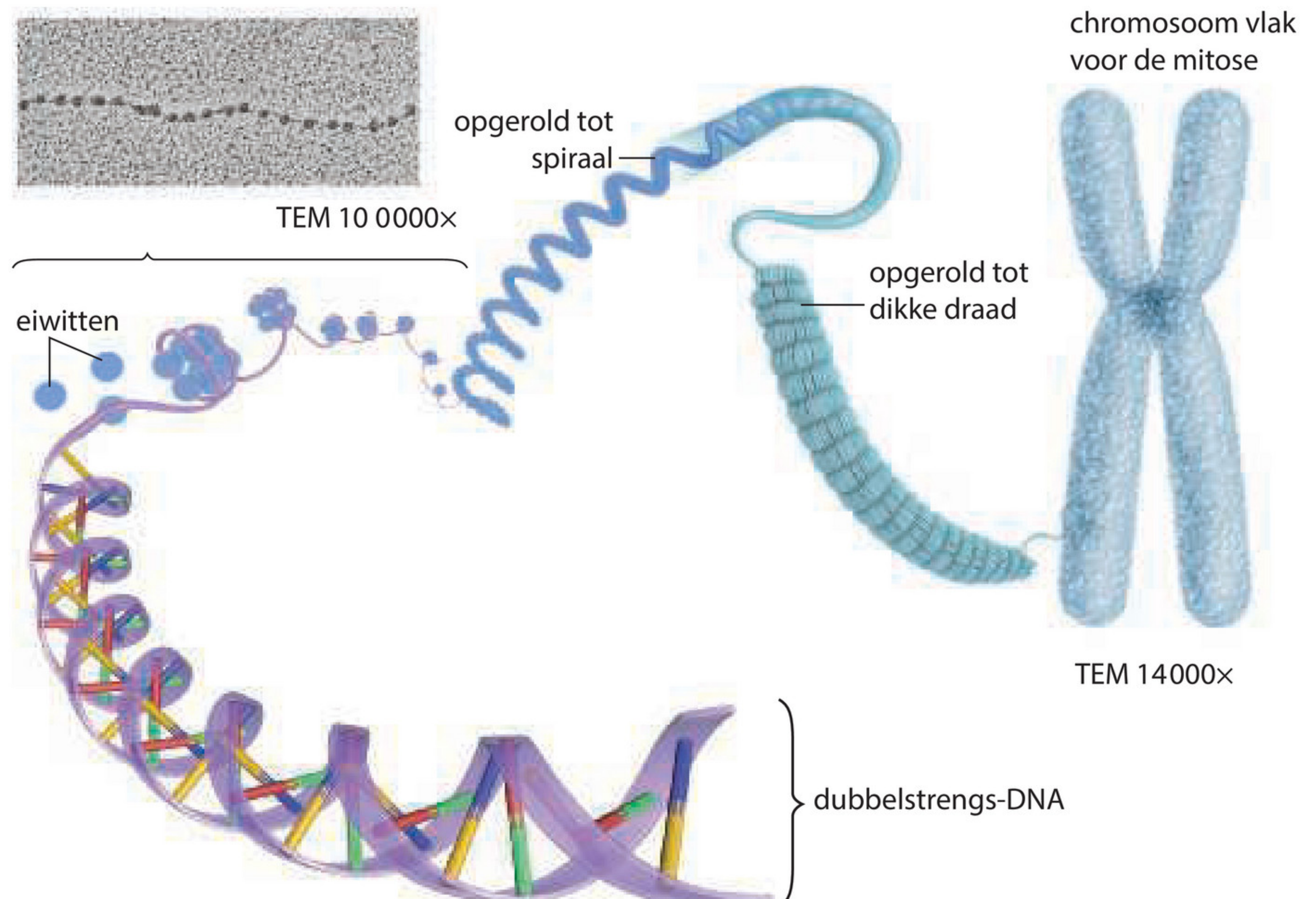


De stikstofbasen steken aan de zijkant uit de keten en kunnen twee DNA-nucleotideketens met elkaar verbinden. De twee nucleotideketens worden met elkaar verbonden door **basenparing**. Elke stikstofbase heeft een vaste bindingspartner: adenine vormt een **basenpaar** met thymine en guanine met cytosine. Hierdoor ontstaat **dubbelstrengs DNA** waarin de ketens een **helixstructuur** (spiraalvorm) hebben (zie afbeelding 5). Alle levende wezens hebben dubbelstrengs DNA.

► **Afb. 5** Twee nucleotideketens in een helixstructuur vormen dubbelstrengs DNA.



► **Afb. 6** Een DNA-molecuul van een eukaryoot wordt compacter gemaakt.



Bij eukaryoten is het DNA in de celkern verdeeld over verschillende chromosomen. Elk chromosoom bestaat uit een enkel, zeer lang dubbelstrengs DNA-molecuul. Het langste DNA-molecuul in een chromosoom van de mens is ongeveer vijf centimeter. Een DNA-molecuul past in een celkern doordat het een compacte vorm heeft. Afhankelijk van de fase van de celcyclus waarin de cel verkeert, is een DNA-molecuul strakker of losser opgerold. Het DNA is rond een aantal eiwitten gewikkeld (zie afbeelding 6). Voorafgaand aan een celdeling wordt het DNA opgerold tot een spiraal (spiraliseren) die verder wordt opgerold tot een dikkere draad. Door lussen en vouwen kan het DNA nog compacter worden.

DNA-SEQUENTIE

De volgorde waarin nucleotiden in een DNA-molecuul zijn gerangschikt, noem je een **sequentie** (zie afbeelding 7). Een **gen** is een deel van een DNA-molecuul dat de code (DNA-sequentie) bevat waarmee ribosomen een of meer eiwitten kunnen synthetiseren. Doordat in de DNA-sequentie variaties voorkomen, zullen ribosomen verschillende soorten eiwitten synthetiseren.

▼ **Afb. 7** Een sequentie van nucleotiden in een enkelstrengs DNA-molecuul.

```
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
GATATTAGGTCCTGATTGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
ATCGTCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGATCGAT
ATTCCGAGCTAGCTATATAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
TCGATCGCTGCTAGCTATATCCGATGCGCTATGCTAGCTG
ACTCGTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCTAGCT
```

NIET-CODEREND DNA

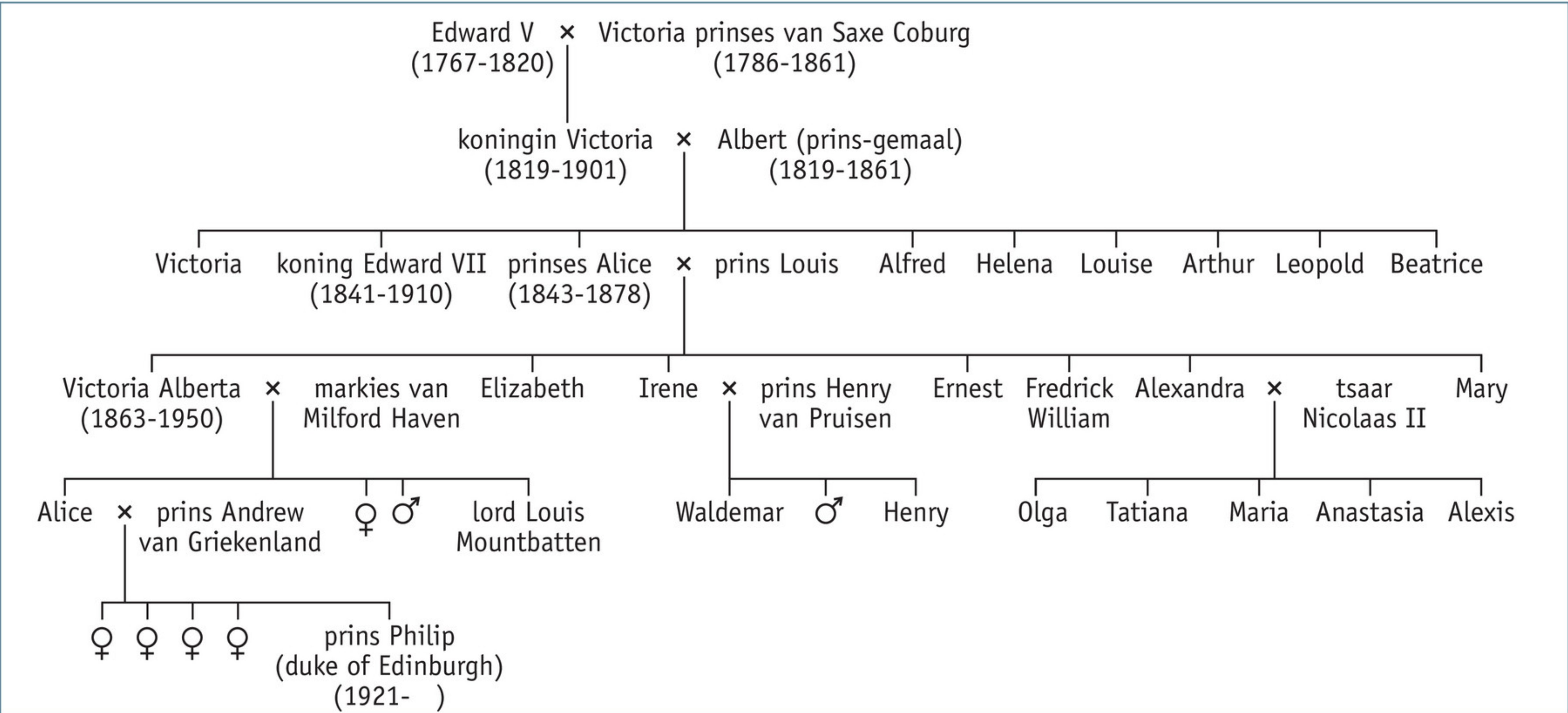
Bij sommige eukaryoten bestaat maar een klein deel van het DNA in een cel uit genen. Het overige DNA codeert niet voor eiwitten en wordt daarom **niet-coderend DNA** genoemd. Bij de mens bestaat ongeveer 98,5% van het genoom uit niet-coderend DNA. Ook binnen genen worden stukken coderend DNA afgewisseld met stukken DNA-sequentie die geen code bevatten. Delen van niet-coderend DNA bestaan uit **repetitief DNA**. Dat zijn herhalingen van korte nucleotidesequenties. Aanvankelijk werd gedacht dat niet-coderend DNA geen functie had. Sommige delen van het niet-coderend DNA coderen niet voor eiwitten maar voor andere moleculen. Deze moleculen hebben een regulerende functie bij de synthese van eiwitten. Soms heeft het niet-coderende DNA zelf een functie bij de eiwitsynthese. Een deel van het niet-coderend DNA bestaat uit genen die hun functie hebben verloren, bijvoorbeeld een gen voor de aanmaak van eigeel bij zoogdieren.

opdrachten

- 1 In welke celorganellen van een bladcel bevindt zich het genoom van een tomatenplant?
- 2 Elke menselijke cel bevat vele honderden mitochondriën en in elk mitochondrium bevinden zich twee tot tien kopieën van het mtDNA. Het mtDNA bevat genen waarmee mitochondriën eigen eiwitten maken en zichzelf kunnen reproduceren.
 - a Kunnen mitochondriën met informatie van het kernDNA worden opgebouwd? Leg je antwoord uit.
 - b Van wie is het mtDNA in de cellen van een embryo afkomstig? Leg je antwoord uit.
 - c Mitochondriale overerving is kenmerkend voor bepaalde aandoeningen. Waardoor komen deze aandoeningen vaak tot uiting in weefsels en organen die veel energie nodig hebben?

d In afbeelding 8 is een deel van de stamboom van de familie van tsaar Nicolaas II weergegeven. In 1995 werden in Jekaterinenburg skeletten opgegraven. Om na te gaan of de opgegraven skeletten echt van het tsarengesin zijn, is DNA uit die skeletten vergeleken met DNA van prins Philip. Philip is de echtgenoot van de koningin van Engeland en verwant aan de tsarenfamilie. Het tsarengesin bestond uit Nicolaas II, tsarina Alexandra, hun zoon Alexis en hun vier dochters. Voor het vergelijken van het DNA gebruikte men geen DNA uit de kernen maar mtDNA. Van welke leden van het tsarengesin is het mtDNA gelijk aan dat van prins Philip? Leg uit op welke manier het mtDNA is doorgegeven.

▼ Afb. 8 Een deel van de stamboom van de familie van tsaar Nicolaas II.



▼ Afb. 9 Het gewichtspercentage van de vier verschillende stikstofbasen in het totale DNA van enkele organismen.

Organisme	A	T	C	G
E. coli	26,0	23,9	24,9	25,3
Gist	31,3	32,9	18,7	17,1
Haring	27,8	27,5	22,2	22,6
Mens	30,9	29,4	19,9	19,8

- 3 a Zet de volgende begrippen in de juiste volgorde van klein naar groot: *chromosoom – DNA-molecuul – gen – genoom – nucleotide – thymine*.
- b Van dubbelstrengs DNA heeft één streng de nucleotidesequentie CGGATACGGTTA. Wat is de nucleotidesequentie van de andere streng? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 71B).
- c In de tabel van afbeelding 9 is het gewichtspercentage van de vier verschillende stikstofbasen in het totale DNA van enkele organismen weergegeven. Leg uit dat het gewichtspercentage van adenine vrijwel gelijk is aan dat van thymine.
- d DNA is opgebouwd uit slechts vier verschillende nucleotiden. Hoe kunnen vier verschillende nucleotiden coderen voor veel verschillende eiwitten?
- 4 Mensen bezitten het gen voor de aanmaak van vitamine C in hun DNA, maar maken het toch niet zelf aan. De meeste andere zoogdieren doen dat wel. Leg uit waarom bij mensen het gen voor de aanmaak van vitamine C waarschijnlijk zijn functie heeft verloren.

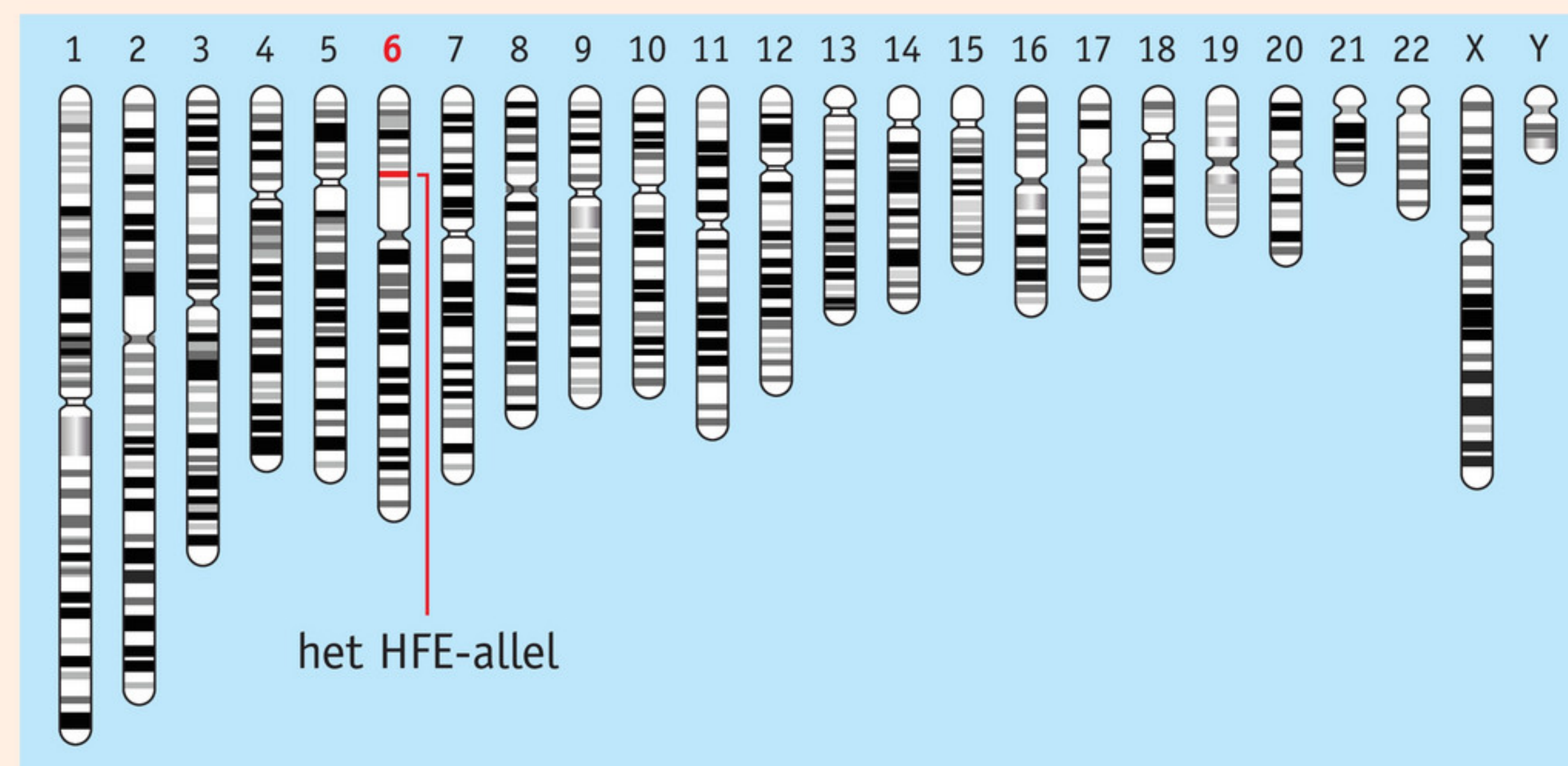
CONTEXT

Leefwereld

Hemochromatose

Bij de vader van Juultje werd op zijn vijftigste de erfelijke stofwisselingsziekte hemochromatose ontdekt. De transporteiwitten die ijzer vanuit de dunne darm naar de bloedvaten transporteren, vervoeren bij hem veel meer ijzer dan normaal. Daardoor wordt er te veel ijzer uit het voedsel in de dunne darm opgenomen. De meeste patiënten met hemochromatose hebben tot hun veertigste geen klachten. Een teveel aan ijzer wordt namelijk opgeslagen in onder andere de lever, de milt en het beenmerg. Maar doordat het lichaam overmatig ijzer niet kan afvoeren, blijft het ijzergehalte in deze organen toenemen. Deze ijzerstapeling is schadelijk voor weefsels en organen. In de lever kan dit bijvoorbeeld leiden tot leverkanker. Therapeutische aderlatingen kunnen helpen. Rode bloedcellen bevatten ijzer en door regelmatig bloed af te tappen, daalt het ijzergehalte van het bloed van de patiënt. Het lichaam maakt na een aderlating nieuwe rode bloedcellen aan en gebruikt daarbij het opgeslagen ijzer.

► **Afb. 10** Karyogram van de vader van Juultje.



opdracht

- 5 Juultje ontdekte dat de erfelijke vorm van hemochromatose wordt veroorzaakt door een recessieve mutatie in het HFE-allel op chromosoom 6 (zie afbeelding 10). Dit allel is verantwoordelijk voor de synthese van het transporteiwit voor ijzer.
De moeder van Juultje heeft geen mutatie in het HFE-allel.
 - a Is Juultje draagster? Leg je antwoord uit.
 - b Draggers hebben een verhoogd ijzergehalte, maar ze krijgen de aandoening meestal niet. Het recessieve allel komt dus toch enigszins tot uiting in het fenotype.
Hoe noem je dit verschijnsel?
 - c Juultje staat wangslimvliescellen af voor een DNA-onderzoek.
In welke celorganellen van deze cellen bevindt zich het genoom van Juultje?
 - d Is de sequentie van nucleotiden in het HFE-gen bij de vader en moeder van Juultje hetzelfde? Leg je antwoord uit.
 - e Bij mannen met hemochromatose is de kans op ijzerstapeling iets groter dan bij vrouwen met deze aandoening. Leg dit uit.



Leerdoelen

- Je kunt beschrijven hoe DNA-replicatie plaatsvindt.
- Je kunt uitleggen hoe met gegevens die zijn verkregen door DNA-analyse de graad van verwantschap van soorten kan worden vastgesteld.

▼ **Afb. 11** Watson en Crick met het DNA-model.



2 DNA-replicatie

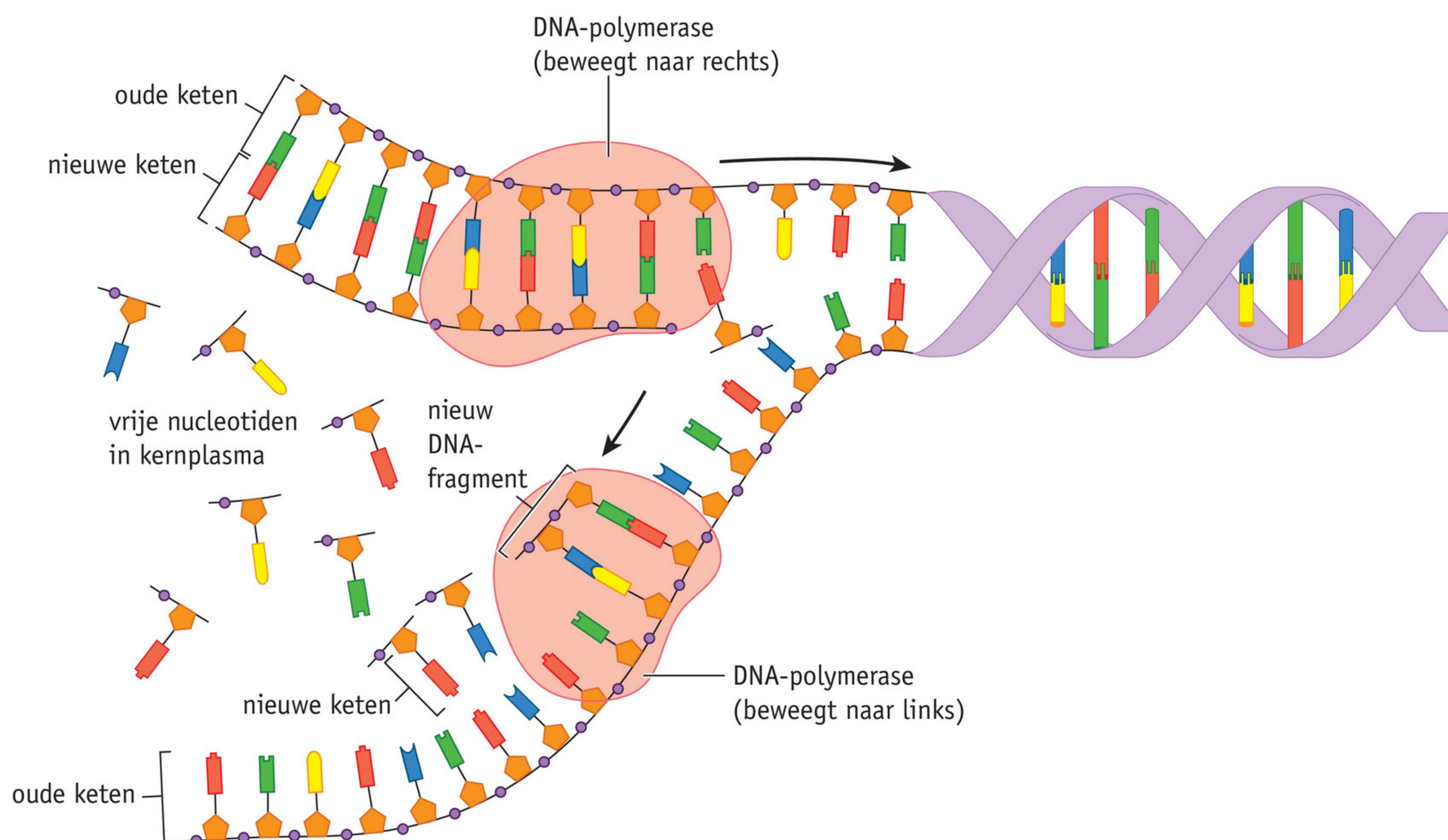
Voordat een cel deelt, wordt het DNA in de kern gekopieerd. Het DNA wordt bij de deling verdeeld over de dochtercellen. Hierdoor bezitten alle cellen in je lichaam een kopie van je DNA, behalve de rode bloedcellen.

REPLICATIE MET DNA-POLYMERASE

In 1953 is het Watson en Crick gelukt om de structuur van DNA te bepalen (zie afbeelding 11). Zij publiceerden hun conclusies in het wetenschappelijke tijdschrift *Nature*. Een maand later publiceerden zij een tweede artikel in dit tijdschrift waarin zij uiteenzetten hoe de sequentie van nucleotiden in dubbelstrengs DNA door basenparing gemakkelijk kan worden gekopieerd.

Het kopiëren (de replicatie) van het DNA vindt plaats tijdens de **S-fase** van de celcyclus. De **DNA-replicatie** begint met het verbreken van de verbindingen tussen de basenparen van een DNA-molecuul. Vervolgens verdwijnt de helixstructuur en gaan de twee strengen van het DNA-molecuul uit elkaar (zie afbeelding 12). In het kernplasma komen **vrije DNA-nucleotiden** voor. Het enzym **DNA-polymerase** schuift langs een enkelvoudige keten en verbindt deze nucleotiden met de vrijgekomen basen in het DNA-molecuul. Steeds verbindt adenine (A) met thymine (T) en cytosine (C) met guanine (G). Door de vaste basenparing ontstaan twee identieke DNA-moleculen. Zo worden twee nieuwe nucleotideketens gevormd, aan elke oude keten één.

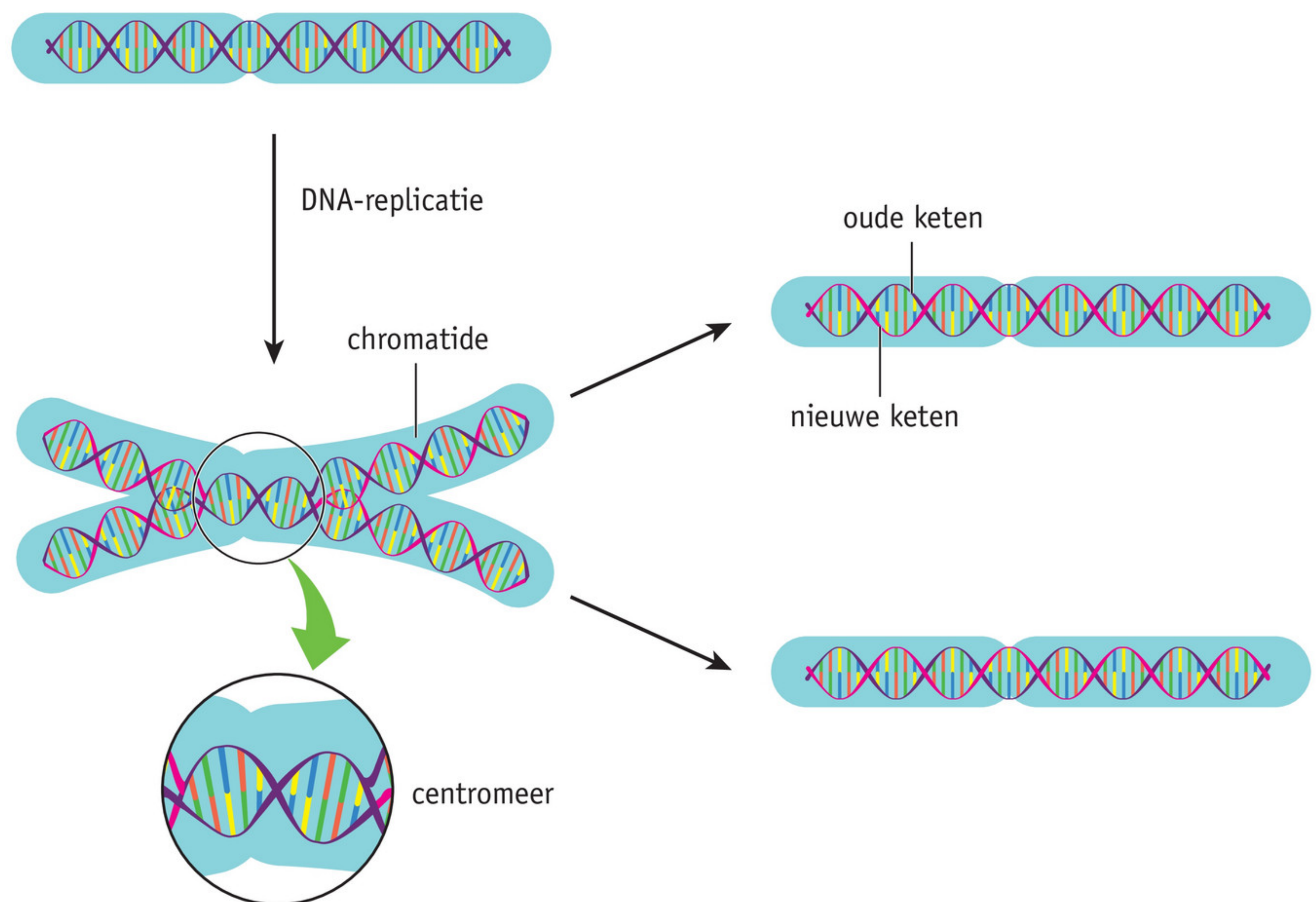
▼ **Afb. 12** DNA-replicatie (schematisch).



De replicatie vindt plaats langs het gehele DNA-molecuul, met uitzondering van het centromeer. Doordat op deze plek de verbindingen in het DNA nog niet worden verbroken, bestaat het chromosoom uit twee **chromatiden**. Elke chromatide bestaat na replicatie uit een oude en een nieuwe keten. Deze nemen weer de helixstructuur aan.

Bij het begin van de mitose (M-fase) worden de chromosomen zichtbaar, doordat ze spiraliseren. Ze worden dan veel korter en dikker. Tijdens het verdere verloop van de mitose worden de chromatiden uit elkaar getrokken en worden ze elk een chromosoom in een dochtercel (zie afbeelding 13). Hierdoor krijgen de dochtercellen een chromosoom dat dezelfde DNA-sequentie heeft als de moedercel waaruit ze zijn ontstaan. Elk van beide dochtercellen heeft ook hetzelfde aantal chromosomen als de moedercel.

► **Afb. 13** Na DNA-replicatie bestaat een DNA-molecuul in een dochtercel uit een oude en een nieuwe keten.

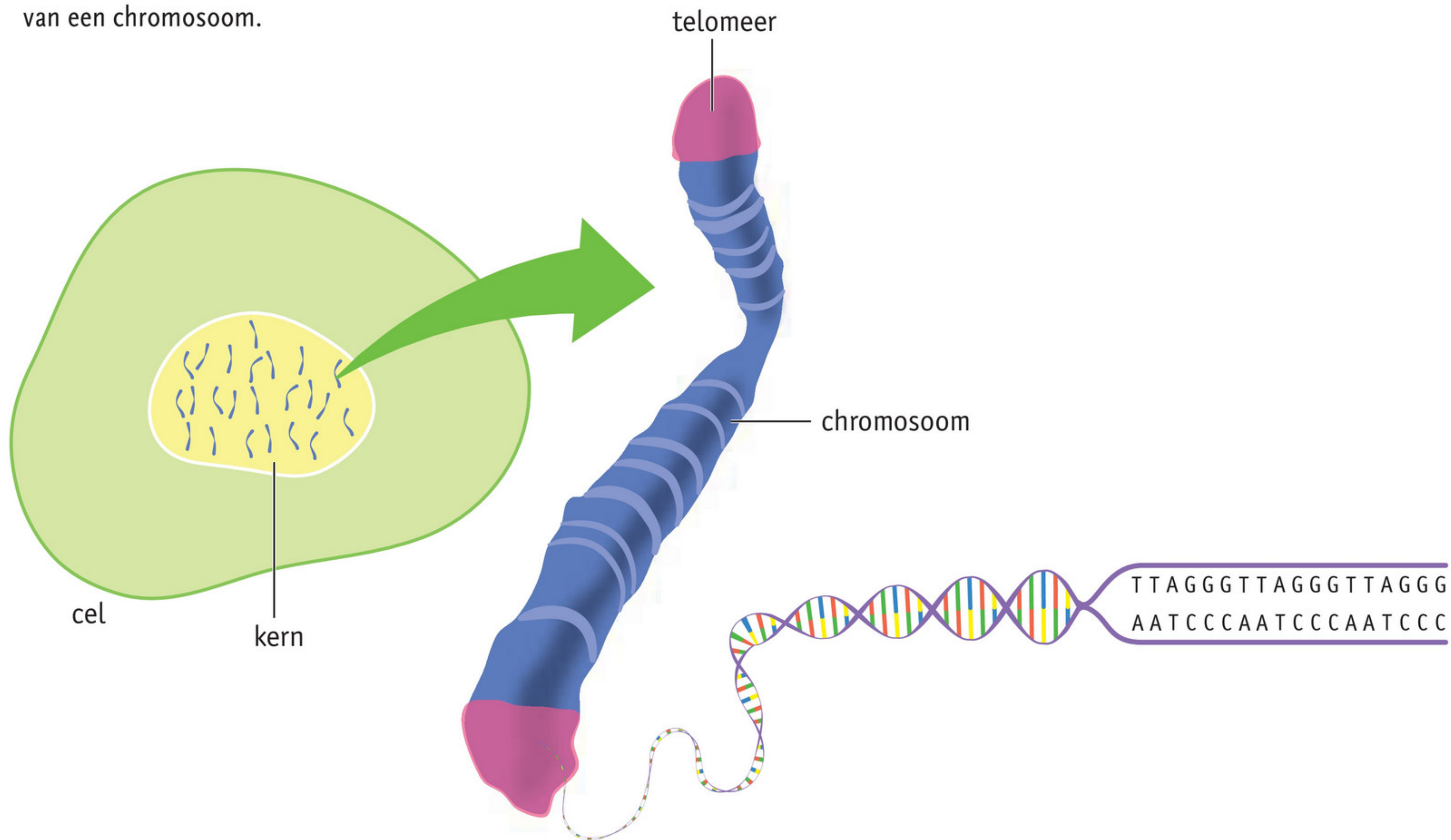


TELOMEREN EN VEROUDERING

Het enzym DNA-polymerase kan tijdens de replicatie het uiteinde van een enkelvoudige keten niet repliceren. Het niet-gekopieerde enkelstrengs DNA van de oude streng wordt na de replicatie door een enzym verwijderd. Hierdoor wordt het DNA-molecuul bij elke celdeling korter. Om te voorkomen dat de genen in het DNA worden beschadigd, bezitten de uiteinden van chromosomen bij eukaryoten telomeren. Een **telomeer** bestaat uit niet-coderend DNA dat is ingekapseld in beschermende eiwitten. Bij mensen bestaat een telomeer uit repetitief DNA: herhalingen van TTAGGG (zie afbeelding 14). Bij elke celdeling wordt een telomeer korter. Na ongeveer vijftig celdelingen is er nog maar een vijfde deel van het telomeer over en dan kan een cel zich niet meer delen. De cel sterft dan af (celdood).

De levensduur van de cellen van een organisme hangt af van de lengte van de telomeren en de snelheid waarmee ze korter worden. Dit is bepalend voor de snelheid waarmee een organisme verouderd. Toch gaan mensen niet dood doordat hun cellen niet meer kunnen delen. Daar worden ze niet oud genoeg voor. Ze sterven aan, bijvoorbeeld, kanker of een hartaanval.

▼ **Afb. 14** Telomeren aan de uiteinden van een chromosoom.



opdrachten

- 6
 - a Welk enzym komt in actie bij DNA-replicatie nadat de helixstructuur is verdwenen en de twee strengen van het DNA-molecuul uit elkaar zijn gegaan? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 71D).
 - b Een diploïde cel geef je schematisch weer met $2n$. Hoe kun je mitose van een diploïde cel schematisch weergeven?
 - c Chromosomen worden vaak afgebeeld als een X. Toch hebben ze deze vorm alleen aan het begin van de mitose. Leg dat uit.
 - d Een onderzoeker slaagt erin vrije nucleotiden in cellen te merken met radioactieve H-atomen. Daardoor wordt gelabeld DNA gevormd tijdens de S-fase van een celcyclus. Bevatte beide chromatiden, die tijdens deze celcyclus worden gevormd, gelabeld DNA of slechts een van beide chromatiden? Leg je antwoord uit.
- 7 Onderzoekers kunnen door het bekijken van telomeren van mensen een indicatie geven over hoelang zij theoretisch nog te leven hebben.
 - a Leg uit waarom onderzoekers voor deze test telomeren bekijken.
 - b Prokaryoten hebben geen telomeren. Leg dit uit.

► PRACTICUMOPDRACHT 1

SEQUENSEN

Voor **DNA-analyse** bepaal je de nucleotidesequentie van het genoom of van een deel van het DNA van een organisme. Het bepalen van de nucleotidevolgorde van DNA heet **sequensen**. Het sequensen van de drie biljoen basenparen van het eerste volledige genoom van een mens duurde vijftien jaar. Dat kan tegenwoordig in één dag. Door de nieuwste technieken is het mogelijk om grotere stukken DNA tegelijkertijd te sequensen. Daardoor zijn deze technieken geschikt voor het ontrafelen van hele genomen. De volgende stap in de DNA-analyse is een DNA-sequentie bestuderen, vergelijken en interpreteren. Dit neemt veel tijd in

- 9 Wanneer je besluit om je hele genoom te laten sequensen, levert dit persoonlijke informatie op. Het is verstandig vooraf goed te overwegen of je deze informatie wilt weten.
- a Bedenk drie redenen die mensen kunnen hebben om de informatie die het sequensen oplevert, niet te willen weten.
 - b De vader van Stijn is tandarts, maar kan door een erfelijke spierziekte zijn werk steeds minder goed doen. Uiteindelijk zal hij niet meer kunnen werken en in een rolstoel terechtkomen. Stijn is 17 jaar en heeft 50% kans dat hij de spierziekte in de toekomst ook ontwikkelt. Om dat zeker te weten kan hij DNA-onderzoek laten doen. Maar Stijn is bang dat het zijn leven negatief beïnvloedt als blijkt dat hij de spierziekte ook krijgt en heeft daarom besloten dat hij het nu nog niet wil weten. Zou jij het willen weten? Leg je antwoord uit.

CONTEXT

Leefwereld

- ▼ **Afb. 16** Persoon die is bespoten met DNA-spray.



DNA-spray

Om inbraken, overvallen en ramkraken te voorkomen of op te lossen, kan een spray worden gebruikt met stukjes DNA die in een laboratorium zijn gemaakt. Kostbare voorwerpen worden ermee gemarkeerd. De DNA-spray is onzichtbaar en zeer moeilijk te verwijderen. Wanneer gemarkeerde voorwerpen worden gestolen, kan de politie na forensisch onderzoek gemakkelijk ontdekken wie de rechtmatige eigenaar van het voorwerp is. Met een DNA-douche kunnen ook overvallers en inbrekers worden gemarkeerd. Wanneer zij tijdens een overval of inbraak worden besproeid met DNA-spray, is later vast te stellen dat zij op het moment van het misdrijf in het pand waren. Om de markering zichtbaar te maken is in de vloeistof een bestanddeel opgenomen dat helderblauw oplicht wanneer het materiaal met uv-licht wordt beschenen (zie afbeelding 16). De DNA-spray die is gebruikt, wordt door de politie ingenomen na een incident. In een database is te vinden wie de rechtmatige eigenaar is van een gemarkeerd product of in welk pand de DNA-spray is gebruikt.

opdracht

- 10 Wanneer gemarkeerde voorwerpen worden gestolen, kan de politie na forensisch onderzoek gemakkelijk ontdekken wie de rechtmatige eigenaar van het voorwerp is.
- a Hoe kan de politie bij het forensisch onderzoek de stukjes DNA uit de spray gebruiken om de rechtmatige eigenaar van een voorwerp te achterhalen?
 - b Is de sequentie van de stukjes DNA in DNA-spray in alle spuitbussen hetzelfde? Leg je antwoord uit.

Leerdoel

- Je kunt beschrijven hoe eiwitsynthese plaatsvindt.

3 Eiwitsynthese

Bij eiwitsynthese wordt een kopie gemaakt van de nucleotidevolgorde van een gen in het DNA. De nucleotidevolgorde van de kopie is het ‘recept’ waarmee een ribosoom een eiwit kan maken.

DE BOUW EN FUNCTIE VAN RNA

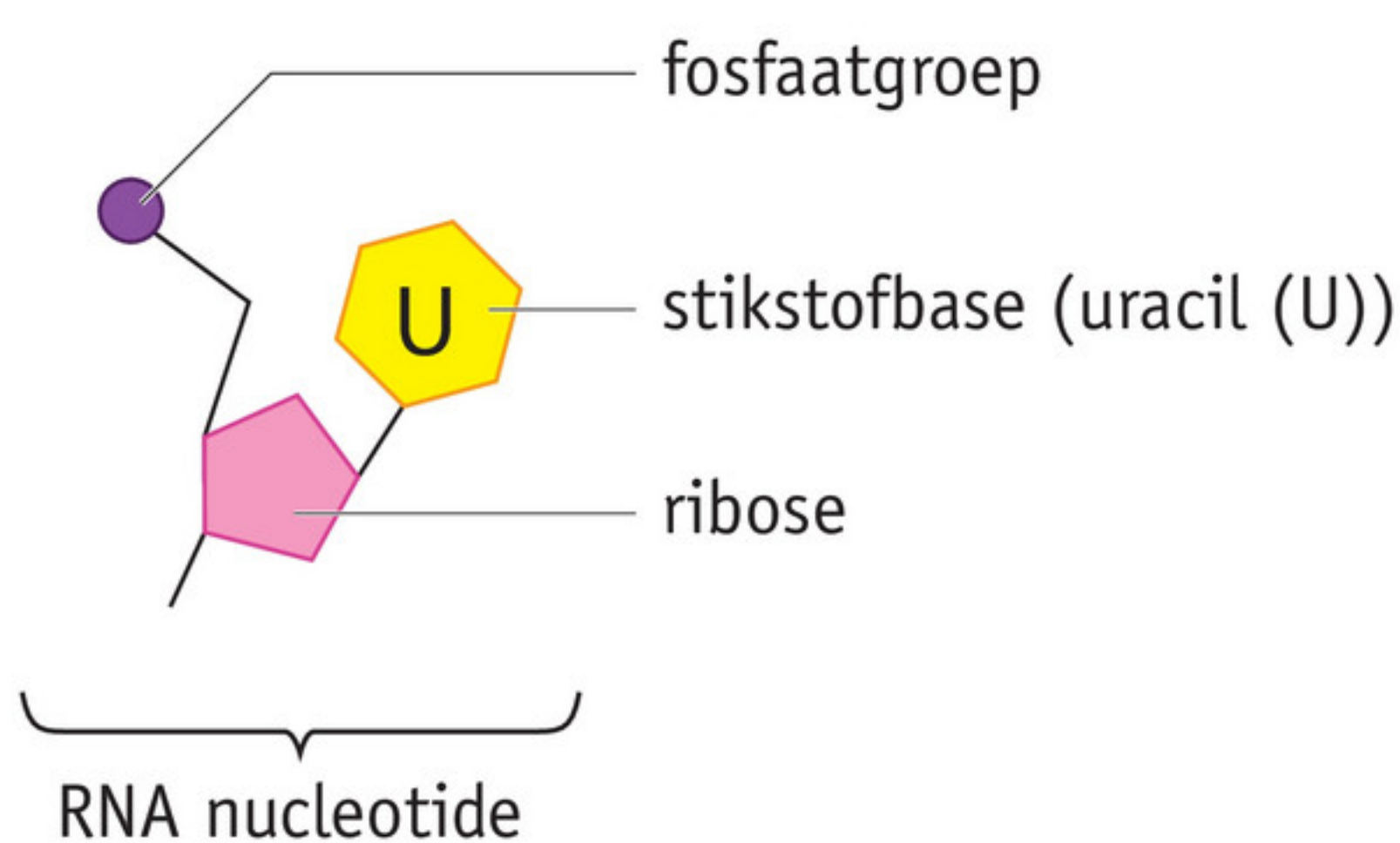
Door DNA-replicatie heeft elke cel in een organisme exact hetzelfde DNA. Met de informatie in de genen van het DNA kunnen ribosomen in het cytoplasma van de cel eiwitten synthetiseren. Hiervoor wordt eerst de DNA-sequentie van een gen ‘overgeschreven’ in een RNA-molecuul. **RNA** (ribonucleïnezuur) bestaat net als DNA uit nucleotiden. RNA bestaat echter uit slechts één keten van nucleotiden. Deze nucleotiden bevatten **ribose** in plaats van desoxyribose. Verder bevatten ze, net als DNA-nucleotiden, een fosfaatgroep en de stikstofbasen adenine, guanine en cytosine. In plaats van thymine bevat een RNA-nucleotide de stikstofbase **uracil** (U) (zie afbeelding 17).

RNA wordt in de celkern gevormd langs delen van een DNA-molecuul. De vorming van RNA heet **transcriptie**. Op plaatsen waar genen aan staan en dus tot expressie komen, worden de bindingen tussen de basenparen verbroken. Langs een van beide ketens wordt een RNA-molecuul gevormd. Dit kan op verschillende plaatsen in een DNA-molecuul tegelijkertijd gebeuren (zie afbeelding 18).

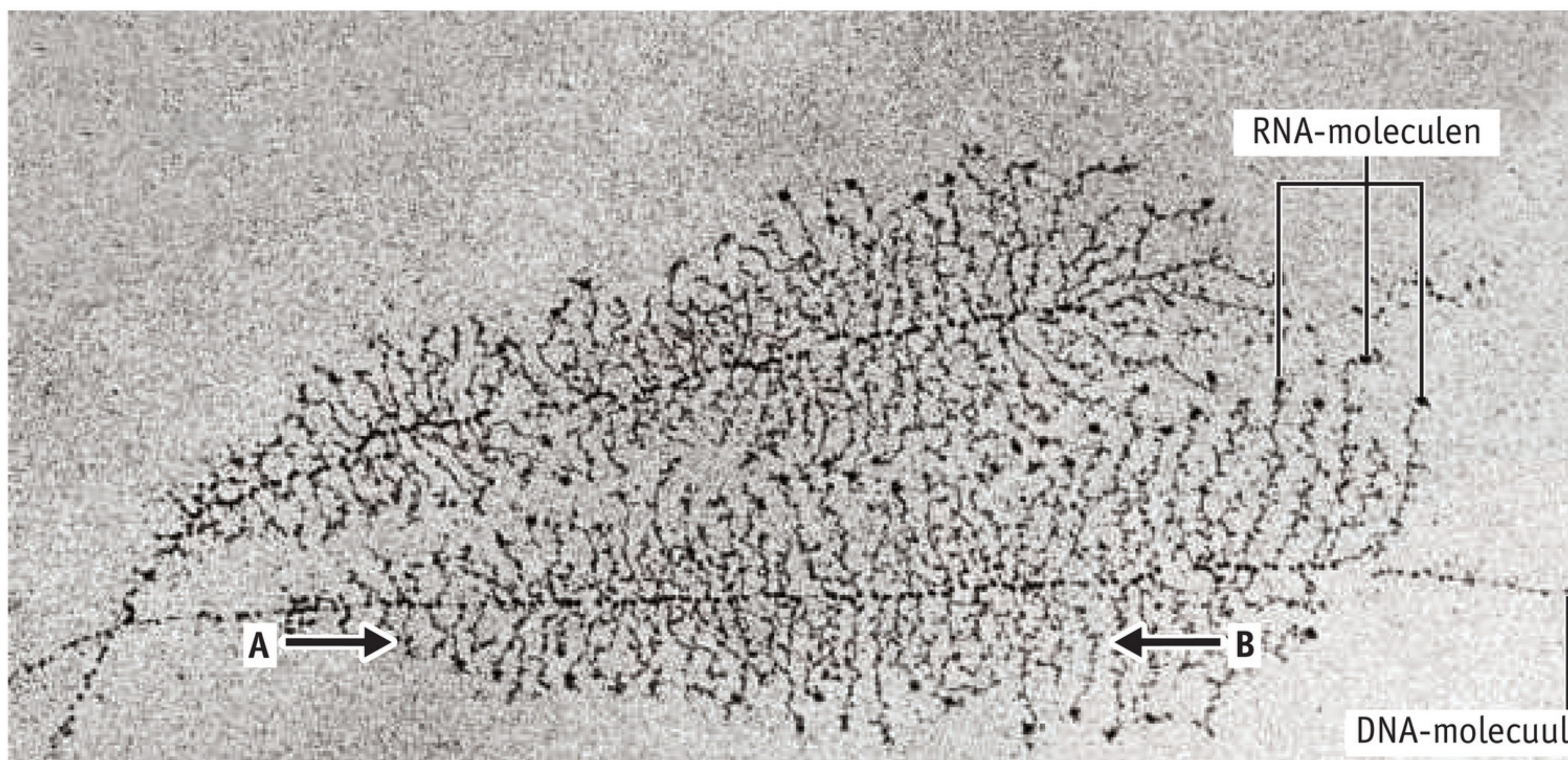
Transcriptie is te vergelijken met DNA-replicatie. Bij DNA-replicatie worden langs beide ketens over de hele lengte nieuwe nucleotidketens gevormd. Nu wordt er één korte keten van RNA-nucleotiden gevormd langs de DNA-sequentie van een gen. Wanneer het RNA-molecuul klaar is, laat het los van het DNA. Het bevat een afschrift van de sequentie in het deel van het DNA-molecuul waarlangs het is gevormd.

De sequentie van het RNA-molecuul is de code voor de synthese van een eiwit. Via de kernporiën verlaat het RNA-molecuul de celkern om de informatie over te brengen naar een ribosoom in het cytoplasma of op het endoplasmatisch reticulum. Een ribosoom leest de nucleotidevolgorde van het RNA af en synthetiseert hiermee een eiwit.

▼ **Afb. 17** Een RNA-nucleotide.



▼ **Afb. 18** Gelijktijdige vorming van verschillende RNA-moleculen (TEM, 63 000×).



opdracht

- 11 a Hoe verschillen DNA en RNA van elkaar? Noteer drie verschillen.
- b Langs een van de nucleotideketens van een DNA-molecuul wordt een RNA-molecuul gevormd. Deze keten heeft de nucleotidesequentie CGGATACGGTTA.
Wat is de sequentie van nucleotiden in het RNA-molecuul dat hierlangs wordt gesynthetiseerd?
- c In afbeelding 18 worden gelijktijdig meerdere RNA-moleculen gevormd. In welke richting wordt het DNA afgelezen: in de richting van A of in de richting van B? Leg je antwoord uit.
- d Het aantal fouten dat wordt gemaakt bij de synthese van RNA is hoger dan bij de synthese van DNA. Toch hebben fouten bij de RNA-synthese minder blijvende gevolgen voor een organisme of voor het nageslacht dan fouten bij de DNA-synthese. Leg dit uit.

DE GENETISCHE CODE

De eiwitten in je lichaam kunnen worden opgebouwd uit twintig verschillende aminozuren. Het aantal en de volgorde van de aminozuren verschillen van eiwit tot eiwit, waardoor ook de eigenschappen van de eiwitten verschillen. De code voor de volgorde van de aminozuren in eiwitten is vastgelegd in de nucleotidesequentie van het RNA. Voor de code van één aminozuur zijn drie opeenvolgende nucleotiden nodig. Dit noem je een **codon**. In afbeelding 19 is in een tabel de **genetische code** gegeven. De genetische code is de vertaling van de nucleotidevolgorde in RNA naar aminozuren. In de tabel is af te lezen welk codon correspondeert met welk aminozuur.

► Afb. 19 De genetische code.

2e base in codon							
1e base in codon	U	C	A	G	3e base in codon		
	U	Phe	Ser	Tyr		Cys	U
		Phe	Ser	Tyr		Cys	C
		Leu	Ser	STOP		STOP	A
		Leu	Ser	STOP		Trp	G
	C	Leu	Pro	His		Arg	U
		Leu	Pro	His		Arg	C
		Leu	Pro	Gln		Arg	A
		Leu	Pro	Gln		Arg	G
	A	Ile	Thr	Asn		Ser	U
		Ile	Thr	Asn		Ser	C
		Ile	Thr	Lys		Arg	A
		Met	Thr	Lys		Arg	G
	G	Val	Ala	Asp		Gly	U
		Val	Ala	Asp		Gly	C
		Val	Ala	Glu		Gly	A
		Val	Ala	Glu		Gly	G

In je **Binas** (tabel 67H) vind je de namen en structuurformules van de aminozuren.

Als de stikstofbasenvolgorde van de nucleotiden in een codon UUU is, zoek je in de genetische code de eerste base in het codon op, dan de tweede base en vervolgens de derde base. Je leest dan af dat UUU de code is voor het aminozuur fenylalanine (Phe). De synthese van een aminozuurketen start altijd bij het codon AUG. Dit is het **startcodon** en is de code voor het aminozuur methionine. Elke aminozuurketen begint dan ook met methionine. Bij de meeste eiwitten wordt dit aminozuur later weer van de keten afgesplitst. Drie codons bevatten geen code voor een aminozuur. Dit zijn de **stopcodons**. Doordat geen aminozuur kan worden ingebouwd, stopt de eiwitsynthese.

TRANSLATIE

Een cel heeft in zijn cytoplasma altijd een voorraad van de twintig verschillende aminozuren voor de eiwitsynthese. Door aminozuren op te nemen uit de omgeving of door aminozuren zelf te maken, wordt deze voorraad op peil gehouden. De aminozuren worden door een ribosoom aan elkaar gekoppeld tot eiwitten in een volgorde die wordt bepaald door een RNA-molecuul. Dit noem je **translatie**. De translatie begint wanneer een ribosoom bindt aan het startcodon van een RNA-molecuul. Het ribosoom schuift daarna verder langs het RNA-molecuul, codon na codon. Het ribosoom leest daarbij de nucleotidevolgorde van elk codon af en voegt steeds het juiste aminozuur toe aan de aminozuurketen. De eiwitsynthese stopt wanneer een ribosoom een stopcodon bereikt. De aminozuurketen laat dan los van het ribosoom. Als een ribosoom een stuk voorbij het startcodon is, kan er een ander ribosoom binden aan het startcodon. Zo kunnen er meerdere ribosomen tegelijkertijd zijn gebonden aan één RNA-molecuul. De cel kan dan veel meer eiwitten maken in een bepaalde tijd.

opdrachten

- 12
 - a Voor welk aminozuur bevat het codon ACG de code?
 - b Welke codons bevatten de code voor het aminozuur Thr?
 - c Welke drie stopcodons kan een RNA-molecuul bevatten?
 - d Zijn codons die bestaan uit twee nucleotiden geschikt als genetische code voor de synthese van eiwitten? Leg je antwoord uit.

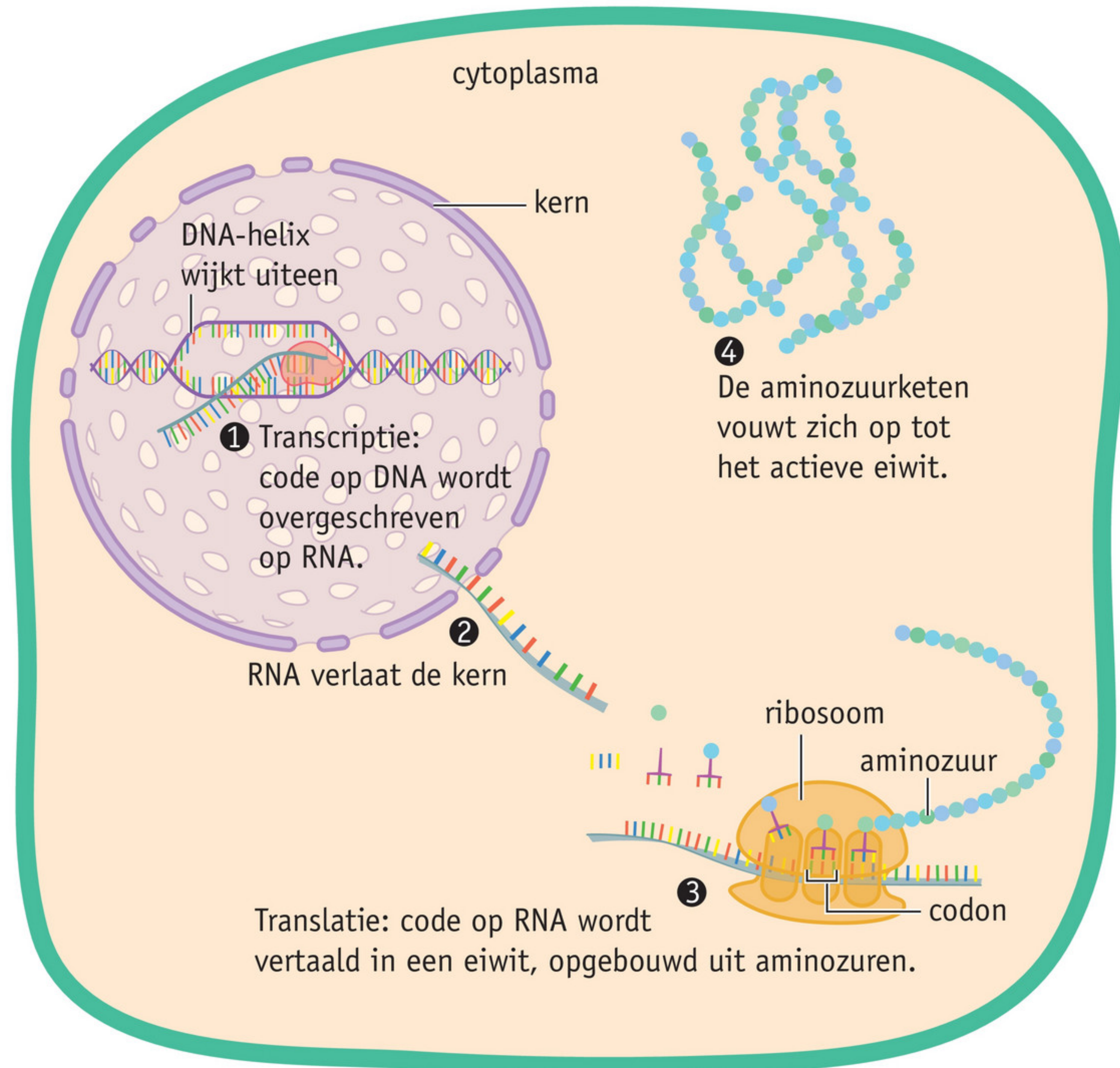
- 13 De nucleotidevolgorde in een RNA-molecuul is als volgt:
G-U-C-G-G-A-U-G-C-C-G-C-G-A-A-A-U-U-G-G-G-U-G-C-C-U-A-C-C-U-A-A-G-U-U
 - a Neem de reeks stikstofbasen over en geef de plaats van het startcodon aan.
 - b Geef in de reeks ook de plaats van het stopcodon aan.
 - c Geef weer welke aminozuren er volgens de code van het RNA-molecuul door ribosomen aan elkaar worden gekoppeld. Gebruik daarbij de genetische code (**Binas** tabel 71G of afbeelding 19).

- 14 Wanneer bij prokaryoten RNA wordt gevormd langs het DNA, kunnen ribosomen de nucleotidesequentie van het RNA direct vertalen in een eiwit.
 - a Leg uit waarom dit bij eukaryoten niet kan.
 - b Cytoplasma bevat enzymen die RNA afbreken.
Leg uit dat deze enzymen noodzakelijk zijn voor het goed functioneren van de cel.
 - c Welke voordelen heeft het dat de informatie van het DNA niet direct wordt afgelezen door ribosomen, maar eerst wordt omgezet in RNA-moleculen die worden afgelezen door ribosomen? Noteer twee voordelen.

EIWITTEN

Nieuwe eiwitten die in een cel zijn gevormd door ribosomen die vrij in het cytoplasma liggen, komen in het cytoplasma terecht (zie afbeelding 20).

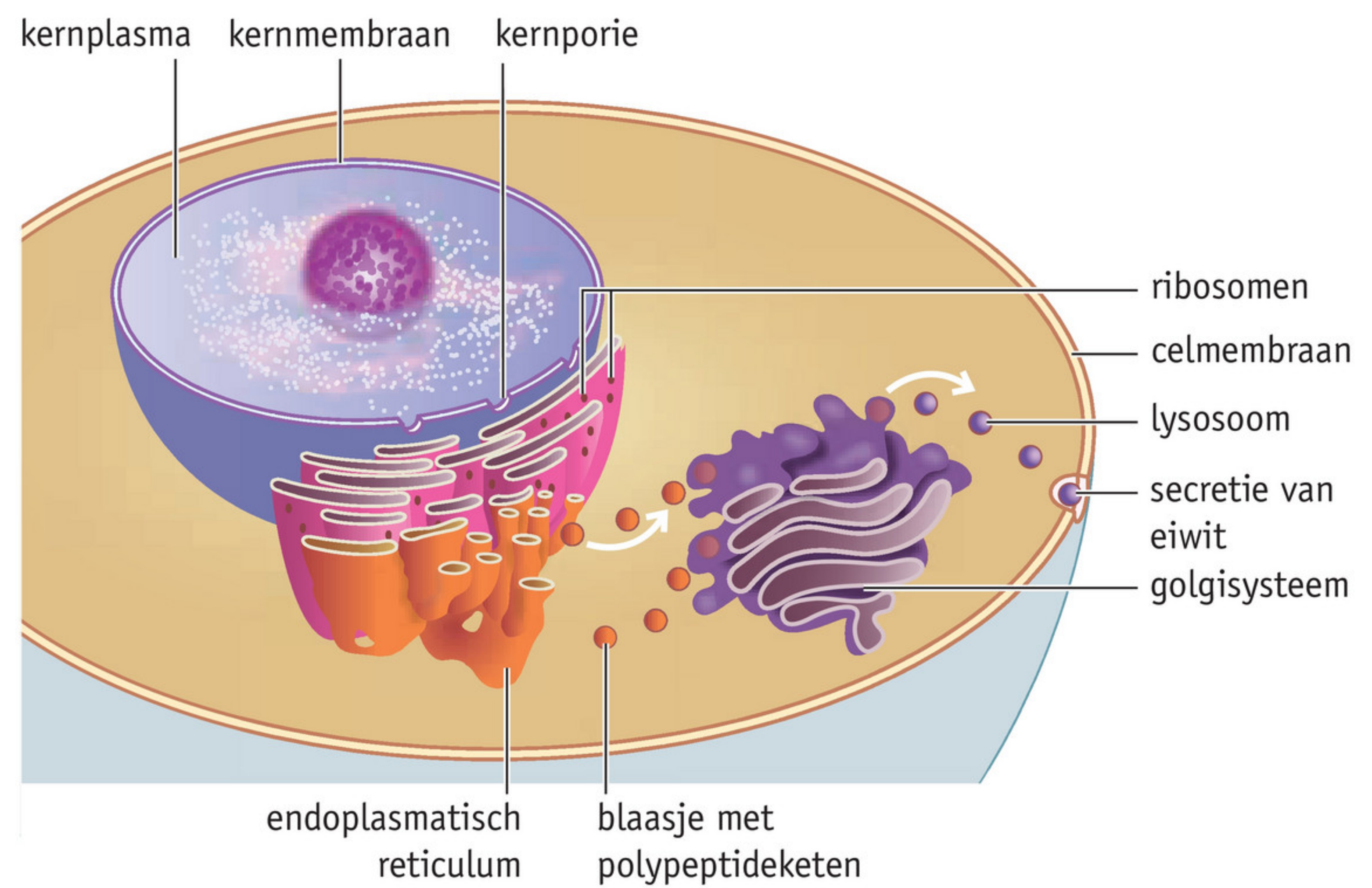
► **Afb. 20** Een schematisch overzicht van de eiwitsynthese.



De eiwitten die zijn gevormd door ribosomen op het endoplasmatisch reticulum, komen in de ruimte tussen de dubbele membranen van het endoplasmatisch reticulum terecht. De functie van eiwitten wordt bepaald door de aminozuurvolgorde en de ruimtelijke structuur. Na de eiwitsynthese hebben eiwitmoleculen nog niet hun uiteindelijke vorm. Ze worden in blaasjes van het endoplasmatisch reticulum naar het golgisysteem vervoerd. Door vouwing ontstaat dan de driedimensionale structuur. Een groot deel van de eiwitten gaat vervolgens naar het golgisysteem. Ook van het golgisysteem snoeren zich blaasjes af. Sommige blaasjes versmelten met het celmembraan en geven de eiwitten buiten de cel af (secretie). Andere blaasjes blijven in de cel (zie afbeelding 21).

Veel eiwitten worden nog verder bewerkt in het golgisysteem en krijgen daar hun uiteindelijke vorm. Sommige eiwitmoleculen worden pas functioneel als ze buiten de cel zijn afgescheiden. Wanneer een eiwit niet de juiste vorm heeft, kan het zijn functie niet uitvoeren en wordt het meestal afgebroken door bepaalde enzymen. Eiwitten met een verkeerde vorm kunnen niet worden afgebroken en klonteren samen. Soms functioneren ze wel, maar voeren ze hun taak niet goed uit. Ziekten als diabetes, taaislijmziekte of de ziekte van Alzheimer worden veroorzaakt door verkeerd gevouwen eiwitten.

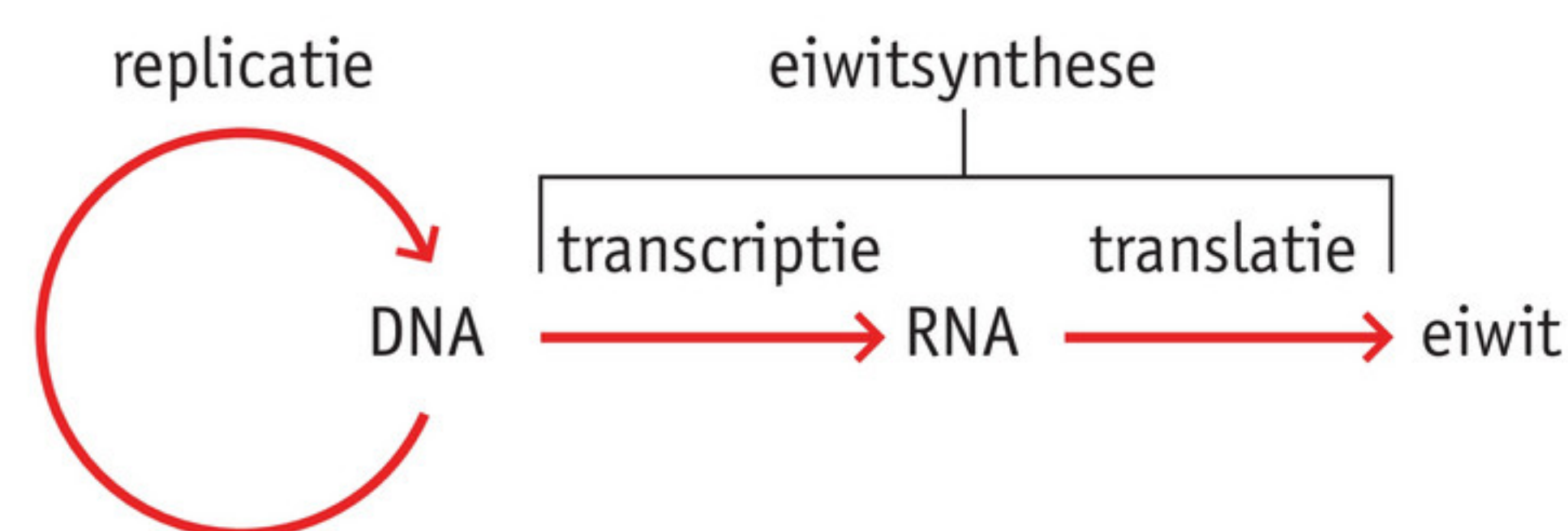
► **Afb. 21** Van eiwitsynthese tot secretie.



opdracht

- 15 Geef van de volgende processen aan of ze plaatsvinden tijdens de DNA-replicatie, tijdens de transcriptie of tijdens de translatie. Je kunt hierbij afbeelding 22 gebruiken.
- 1 DNA-polymerase koppelt DNA-nucleotiden aan een oude keten.
 - 2 Langs DNA wordt RNA gevormd.
 - 3 Het proces stopt bij een stopcodon.
 - 4 Het proces stopt wanneer het hele genoom in een cel is gekopieerd.
 - 5 Ribosomen vertalen RNA in een aminozuurketen.
 - 6 Er worden twee nieuwe DNA-ketens gevormd.

► **Afb. 22** Overzicht van DNA-replicatie en eiwitsynthese.



► OLYMPIADE OPDRACHT 4

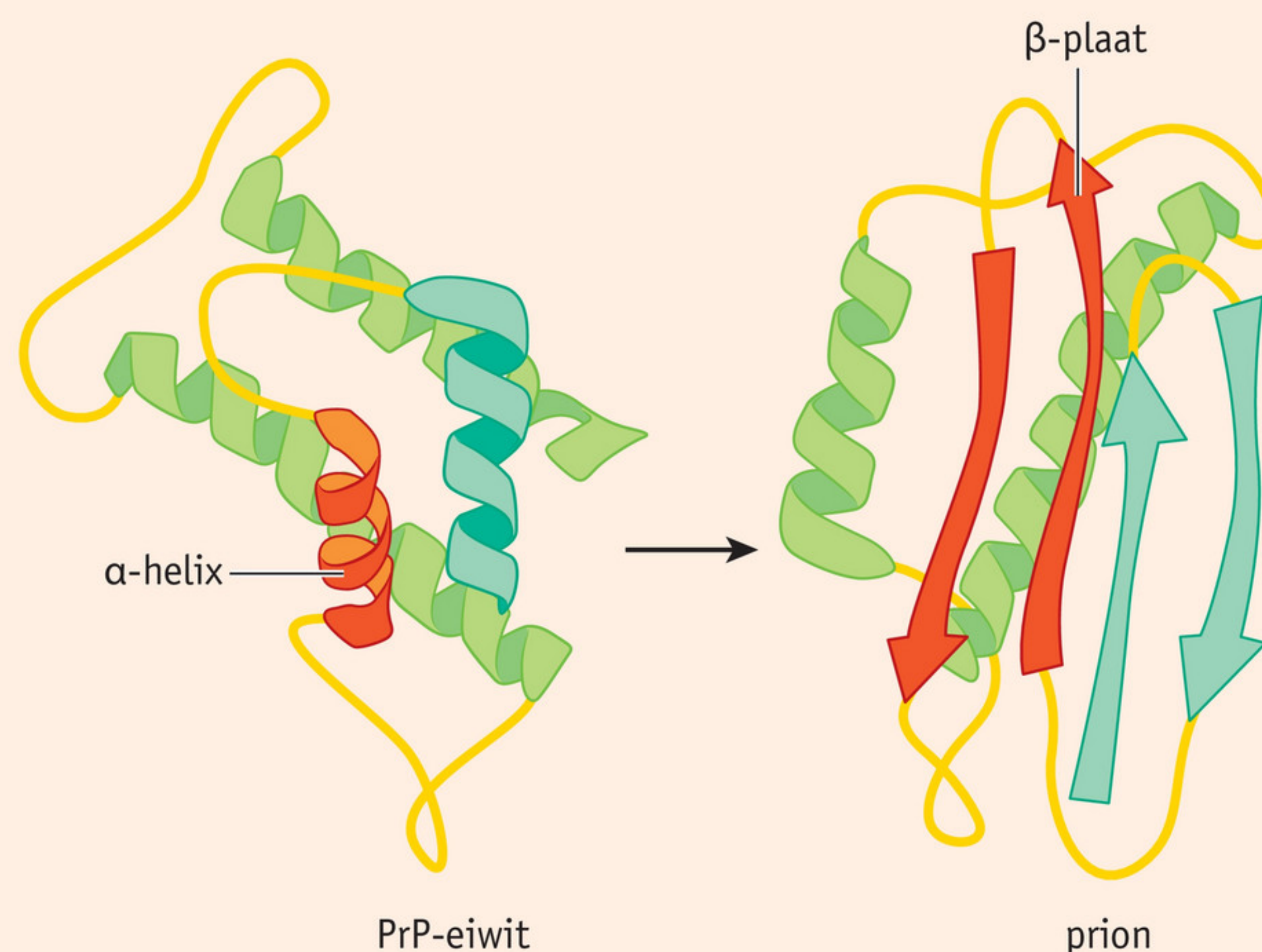
CONTEXT

Leefwereld

Prionen

De gekkekoeienziekte of BSE (boviene spongiforme encefalopathie) werd in 1985 voor het eerst in Groot-Brittannië vastgesteld. Op televisie zag je beelden van koeien die zich vreemd bewogen en omvielen. Toen bekend werd dat bij mensen de ziekte van Creutzfeldt-Jakob (CJD) kan worden veroorzaakt door het eten van met BSE besmet rundvlees, durfden veel mensen geen vlees meer te eten. Tot 1982 werd gedacht dat ziekteverwekkende micro-organismen altijd de oorzaak waren van infectieziekten. Micro-organismen bevatten allemaal DNA of RNA met de genetische code voor de voortplanting van het micro-organisme. Toen werd ontdekt dat abnormaal gevouwen eiwitten (prionen) dodelijke ziekten kunnen veroorzaken, zoals BSE bij runderen en CJD bij mensen. Prionen ontstaan uit prionproteïnen (PrP-eiwitten). PrP-eiwitten spelen een grote rol bij de aanmaak van zenuwcellen in de hersenen. Prionen tasten het centrale zenuwstelsel van dieren en mensen aan waarbij holle ruimten in de hersenen ontstaan door het afsterven van zenuwcellen. Prionen zijn in staat om normaal gevouwen PrP-eiwitten ertoe aan te zetten om ook verkeerd te vouwen en zijn overdraagbaar tussen diersoorten die soortgelijke PrP-eiwitten hebben.

► **Afb. 23** Structuur van een PrP-eiwit en van een prion (schematisch).



opdracht

- 16** PrP-eiwitten hebben een andere ruimtelijke structuur dan prionen.
- Hoe verandert de ruimtelijke structuur van het PrP-eiwit bij de verandering in een prion? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 67H).
 - Het eten van rundvlees dat is besmet met prionen die BSE veroorzaken, kan CJD bij mensen veroorzaken. Leg uit hoe dit kan.
 - Besmetting met prionen is moeilijk te voorkomen doordat ze bestand zijn tegen ontsmetten, bestralen, bevriezen, drogen en verhitten (pasteurisatie en sterilisatie) en ook tegen eiwitsplitsende enzymen. Toch is het aantal patiënten waarbij de diagnose CJD is gesteld, tot op heden beperkt gebleven. Hoe kun je dit verklaren?
 - Mensen met de hersenziekte fatale familiale insomnia (FFI) hebben last van een steeds toenemende slapeloosheid. FFI kan door overerving worden doorgegeven. Een nakomeling van een patiënt met FFI heeft 50% kans om de ziekte ook te krijgen.
Op welke manier ontstaan prionen bij FFI? Leg je antwoord uit.

Leerdoelen

- Je kunt verschillende manieren van genregulatie beschrijven bij prokaryoten.
- Je kunt verschillende manieren van genregulatie beschrijven bij eukaryoten.
- Je kunt beschrijven wat het belang is van genexpressie voor zelfregulatie en zelforganisatie van een organisme.

4 Genexpressie

Alle cellen van een organisme hebben hetzelfde DNA in de celkern. Toch is de bouw en functie van bijvoorbeeld zenuwcellen, kraakbeencellen en spiercellen heel verschillend. Hoe is dat mogelijk?

GENREGULATIE EN GENEXPRESSIE

Elke cel van ons lichaam bevat hetzelfde DNA met de genen voor alle eiwitten die in je lichaam kunnen worden aangemaakt. Toch produceert geen enkele cel al deze eiwitten. Een cel maakt slechts een aantal eiwitten aan. De genen in een cel kunnen worden aan- en uitgezet. Zo produceren spiercellen bijvoorbeeld geen insuline, maar cellen in de alvleesklier wel. Het aan- en uitzetten van een gen noem je **genregulatie**. Wanneer een gen aan staat, wordt de informatie van het DNA door transcriptie overgeschreven naar een RNA-molecuul waarvan de code door translatie kan worden omgezet in een eiwit. Dit noem je **genexpressie**. Het reguleren van de genexpressie maakt het voor cellen mogelijk om verschillende eiwitten te produceren op het moment dat de cel ze nodig heeft. Zowel prokaryoten als eukaryoten passen hun genexpressie aan wanneer milieufactoren veranderen. Bij meercellige eukaryoten met hetzelfde genoom in alle cellen hangt de genexpressie in een cel niet alleen af van de milieufactoren, maar ook van de celfunctie. Tijdens de ontwikkeling van een meercellige eukaryoot van een zygote (bevruchte eicel) tot een volwassen organisme, moeten de juiste genen op het juiste moment en de juiste plaats tot expressie komen. Zowel bij prokaryoten als eukaryoten wordt dat geregeld door **regulatorgenen**. In prokaryoten coderen ze voor een repressor. In eukaryoten coderen zij voor eiwitten die de genexpressie kunnen activeren of remmen.

opdracht

- 17
- Uit het onderzoek van afbeelding 24 blijkt dat het milieu invloed heeft op de genexpressie bij *E. coli*.

a

Wat was de onderzoeksvraag bij dit onderzoek?

b

De resultaten worden uitgewerkt in een diagram met op de y-as de concentratie β -galactosidase en op de x-as de tijd. Maak dit diagram en geef met een pijl aan wanneer lactose is toegevoegd.

▼ Afb. 24

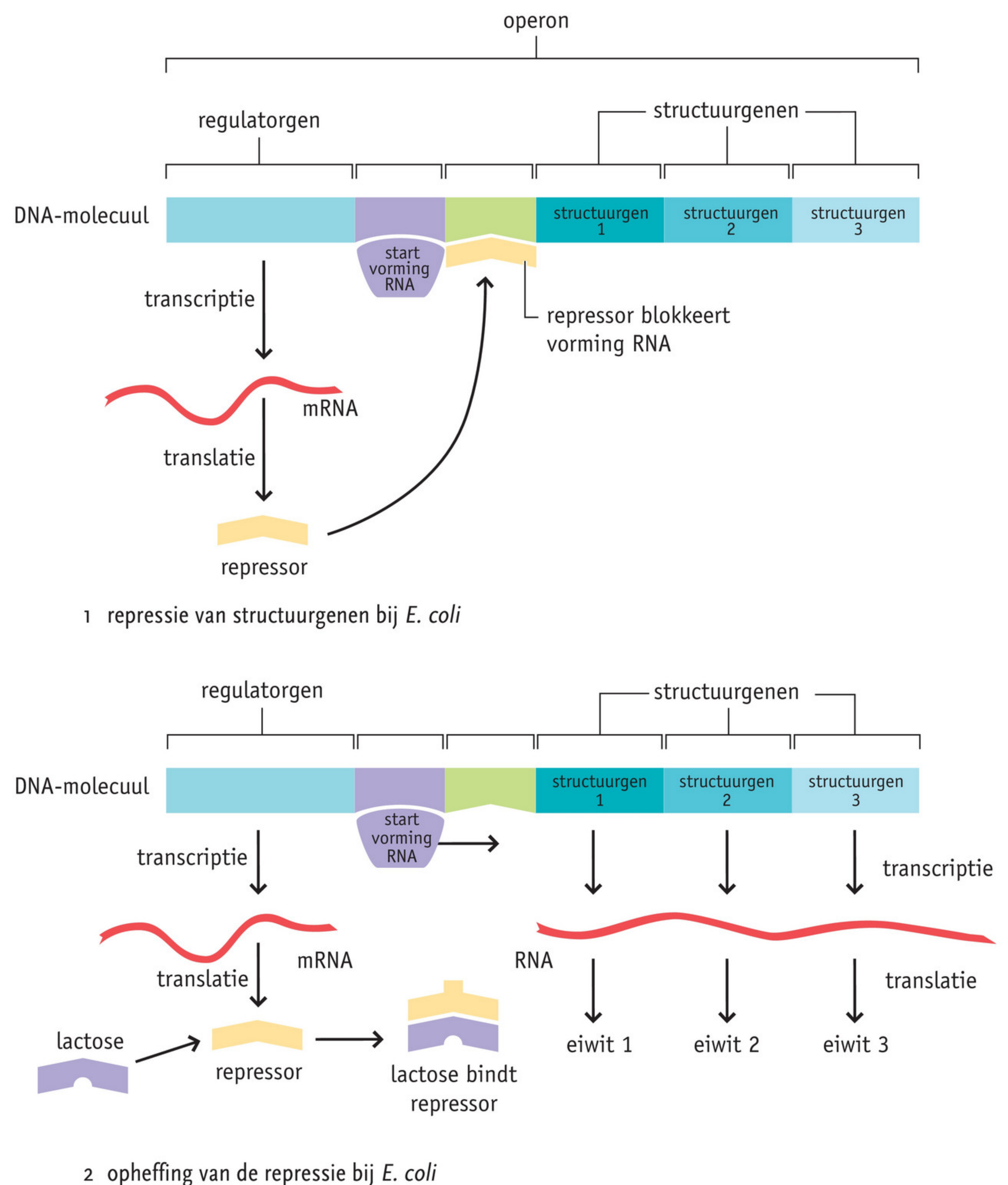
ONDERZOEK		GENEXPRESSIE BIJ <i>E. COLI</i>
Inleiding	<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) is een bacterie die in de dikke darm leeft van suikers zoals glucose en lactose. Voor de vertering en opname van lactose maakt <i>E. coli</i> onder andere het enzym β -galactosidase, dat lactose splitst in glucose en galactose. De hoeveelheid lactose in de darmen is afhankelijk van de voedselinname en verandert continu. Wanneer je een glas melk drinkt, bevat de darminhoud veel lactose. Er is bij <i>E. coli</i> onderzoek gedaan naar de manier waarop de synthese van enzymen voor de vertering van lactose wordt gereguleerd. Als <i>E. coli</i> groeit op een medium met glucose, produceren de bacteriën slechts zeer kleine hoeveelheden van deze enzymen.	
Onderzoeksvraag		
Hypothese	Bij toename van de concentratie lactose stijgt de genexpressie van het β -galactosidasegen bij <i>E. coli</i> .	
Experiment	Van een voedingsbodem met <i>E. coli</i> maar zonder lactose wordt de concentratie β -galactosidase bepaald. Vervolgens wordt aan de voedingsbodem lactose toegevoegd. Daarna wordt op verschillende momenten de concentratie β -galactosidase gemeten. De gegevens worden uitgezet in een diagram.	
Resultaat		
Conclusie	Na toevoeging van lactose aan een medium met <i>E. coli</i> is de genexpressie van het β -galactosidasegen toegenomen. De hypothese is aangenomen.	

GENREGULATIE BIJ PROKARYOTEN

In prokaryoten bevatten **structuurgenen** de informatie voor de eiwitsynthese. Langs structuurgenen kan transcriptie plaatsvinden. Met de RNA-moleculen die hierbij worden gevormd, kunnen ribosomen eiwitten synthetiseren. De structuurgenen die coderen voor ‘samenwerkende’ producten, liggen bij prokaryoten vaak naast elkaar in het DNA-molecuul. Daardoor kan de expressie van deze genen tegelijk worden beïnvloed.

Wanneer er geen lactose aanwezig is, worden bij *E. coli* geen RNA-moleculen gevormd langs de structuurgenen. Er is dan een specifiek eiwitmolecuul (een **repressor**) gebonden aan de plaats die in het DNA vóór de structuurgenen ligt. Daardoor kan er geen RNA worden gevormd langs de structuurgenen. In afbeelding 25.1 is te zien dat het regulatorgen codeert voor het repressormolecuul. Het repressormolecuul heeft twee bindingsplaatsen. Behalve met het DNA kan het ook een binding aangaan met lactose. Wanneer er lactose aanwezig is, bindt lactose aan de repressor (zie afbeelding 25.2). De repressor laat hierdoor los van het DNA waardoor er wél RNA kan worden gevormd langs het DNA. Hiermee kunnen ribosomen β -galactosidase produceren voor de vertering van lactose. Door de aanwezigheid van lactose komen de structuurgenen tot expressie.

► **Afb. 25** Regulatie van het gen voor β -galactosidase in *E. coli*.



opdracht

- 18** *E. coli* kan groeien op een voedingsbodem die geen enkel aminozuur bevat. *E. coli* is in staat alle eiwitten te produceren die nodig zijn om de synthese van alle twintig aminozuren te laten plaatsvinden. Als je een aminozuur aan een voedingsbodem toevoegt, stopt *E. coli* met de productie van de eiwitten die voor de synthese van dit aminozuur nodig zijn. Het aminozuur blijkt de productie van deze eiwitten te onderdrukken.
- a** Hoe heet het proces waarbij een stof die ontstaat, zijn eigen aanmaak afremt?
 - b** De eiwitsynthese wordt onderdrukt door het toevoegen van aminozuren. Welk voordeel heeft dit voor *E. coli*?
 - c** In afbeelding 25.2 bindt lactose aan de repressor. Wordt de repressor dan actief of inactief? Leg je antwoord uit.
 - d** *E. coli* heeft vijf structuurgenen die coderen voor enzymen die betrokken zijn bij de synthese van het aminozuur tryptofaan. Tryptofaan komt onder andere voor in banaan, chocolade en melk. Staan de structuurgenen aan of uit wanneer er voldoende tryptofaan aanwezig is in de dikke darm?
 - e** Wanneer worden de structuurgenen actief? Leg je antwoord uit.

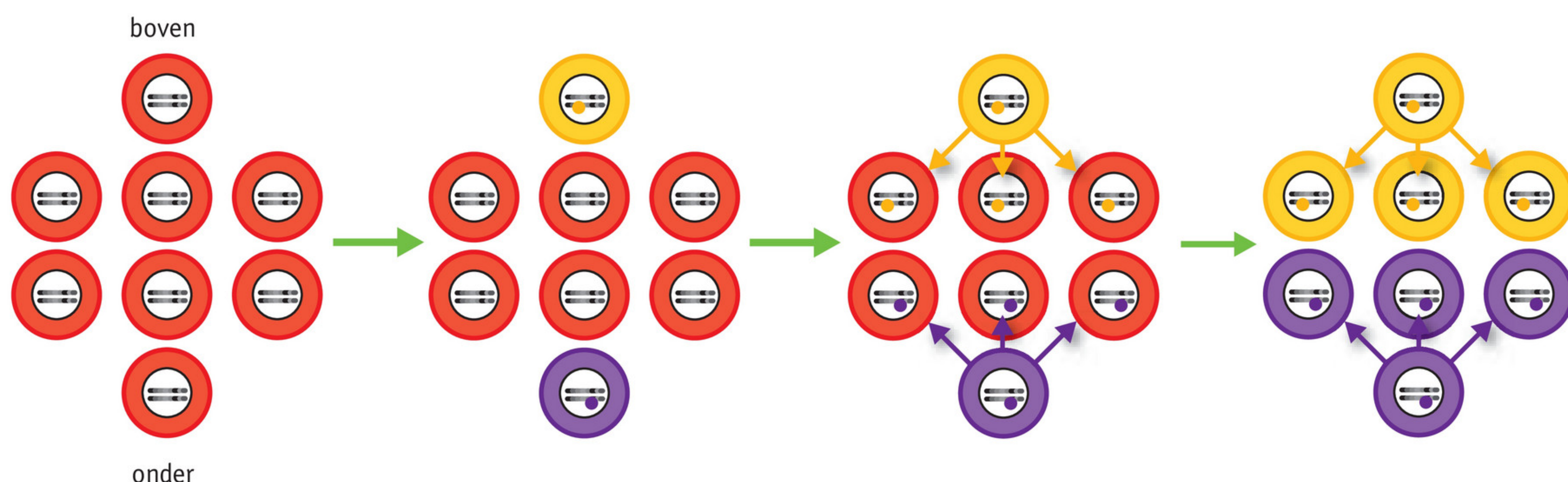
GENREGULATIE BIJ EUKARYOTEN IN ONTWIKKELING

Veel eukaryoten zijn meercellig. Een meercellig organisme ontwikkelt zich van een bevruchte eicel tot een volwassen individu met gespecialiseerde cellen die verschillende functies hebben. Mensen hebben bijvoorbeeld zo'n 220 verschillende **celtypen**. Deze cellen zijn ontstaan uit **stamcellen**. Dat zijn cellen die nog niet (volledig) zijn gespecialiseerd. Ze kunnen zich onbeperkt delen waarbij een van de dochtercellen een nieuwe stamcel wordt en de andere dochtercel zich door **celdifferentiatie** gaat specialiseren tot een specifiek celtype. De **embryonale stamcellen** die na de eerste delingen van een bevruchte eicel ontstaan, kunnen zich ontwikkelen tot elk celtype, ook tot celtypen die niet tot het embryo behoren, zoals de cellen van de placenta en navelstreng. Stamcellen zijn niet alleen belangrijk bij de vroege ontwikkeling van een organisme. Ze spelen ook in jonge en volwassen organismen een grote rol. In bepaalde weefsels van een volwassen organisme zijn **adulte (volwassen) stamcellen** te vinden. Deze stamcellen kunnen zich alleen ontwikkelen tot een beperkt aantal celtypen. Bloedstamcellen kunnen zich bijvoorbeeld ontwikkelen tot verschillende soorten bloedcellen of bloedplaatjes. Adulte stamcellen zorgen voor voortdurende vernieuwing van cellen met een korte levensduur.

CELDIFFERENTIATIE

Embryonale stamcellen beïnvloeden elkaar doordat in hun DNA regulatorgenen tot expressie worden gebracht, waardoor eiwitten worden gevormd. De plaats van een stamcel in het klompje embryonale stamcellen bepaalt welk regulatorgen er wordt aangezet. De eiwitten waarvoor de regulatorgenen de code bevatten, bepalen vervolgens dat andere genen worden aan- of uitgezet (zie afbeelding 26). Zo zorgen de eiwitten van sommige genen ervoor dat de cel zich gaat differentiëren. Andere genen coderen voor eiwitten die genen in de eigen cel of in nabijgelegen stamcellen beïnvloeden. Die kunnen weer een volgend regulatorgen beïnvloeden. Zo ontstaan er, door een aaneenschakeling van genregulatie en genexpressie, verschillende gespecialiseerde cellen, weefsels en organen in een meercellig organisme.

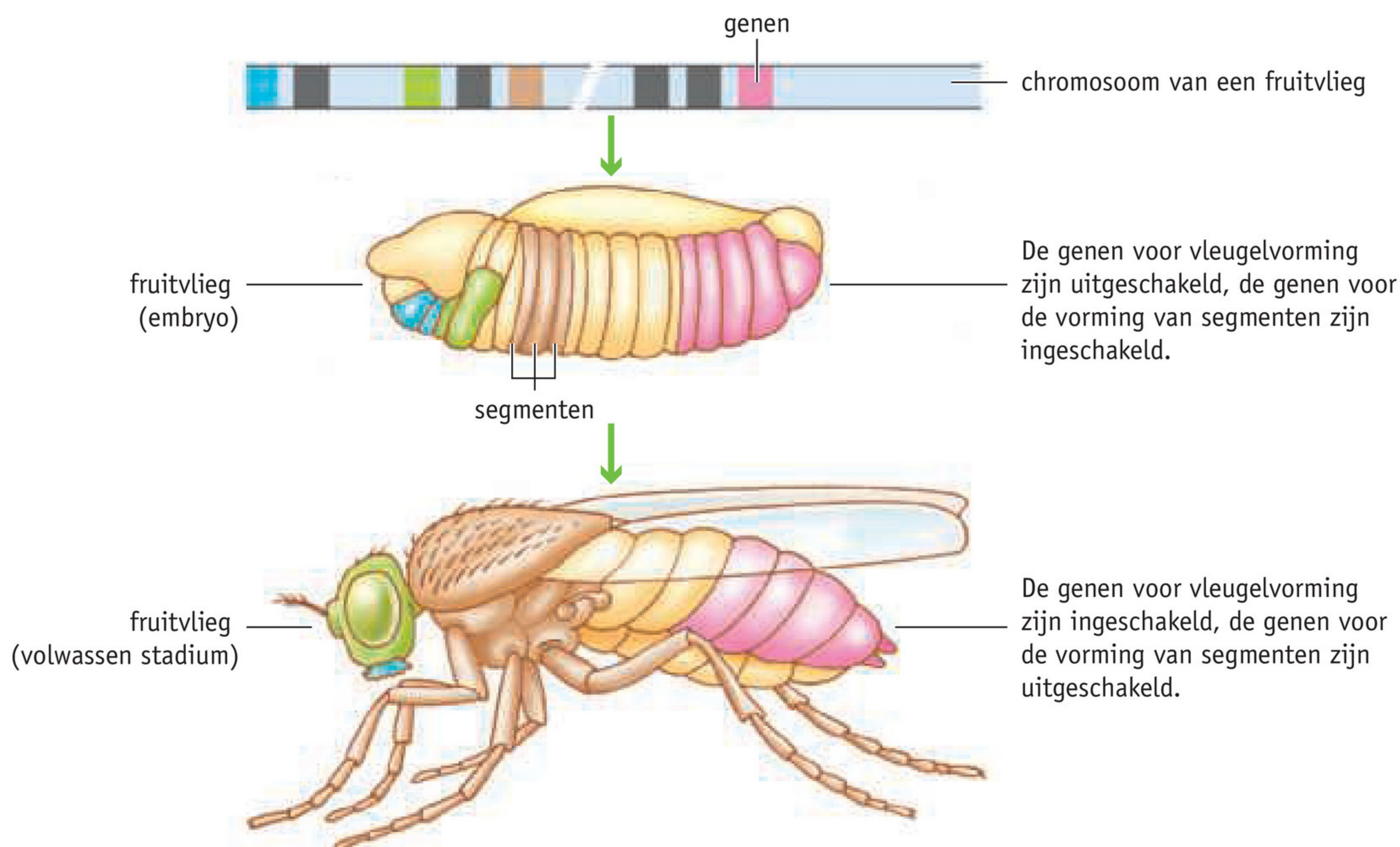
▼ **Afb. 26** Genregulatie en celdifferentiatie in embryonale stamcellen.



- 1 In de bovenste en onderste stamcel komen verschillende regulatorgenen tot expressie, waardoor er verschillende eiwitten worden gemaakt.
- 2 Door binding van de eiwitten komen verschillende genen in het DNA van de cel tot expressie, waardoor de cellen differentiëren.
- 3 Regulatorgenen coderen voor eiwitten en deze binden aan specifieke genen in nabijgelegen cellen.
- 4 Door genexpressie gaan ook deze cellen zich differentiëren.

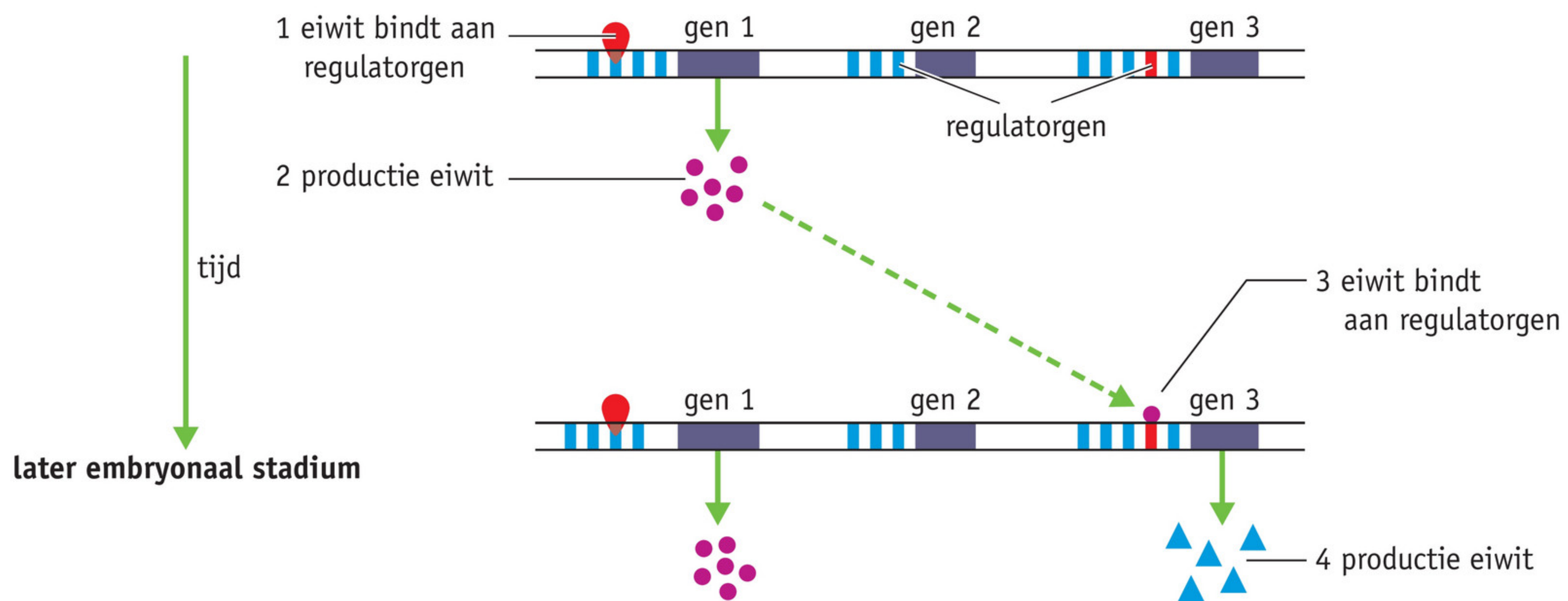
Gedurende de verschillende fasen van de ontwikkeling van een organisme kunnen er in stamcellen andere genen tot expressie worden gebracht (zie afbeelding 27 en 28). Door de wisselende genexpressie ontstaan er gedifferentieerde cellen waaruit zich nieuwe weefsels en organen kunnen ontwikkelen.

▼ **Afb. 27** Regulatie van de genexpressie tijdens de ontwikkeling van een fruitvlieg.



- ▼ **Afb. 28** Het reguleren van de genexpressie tijdens verschillende fasen van de embryonale ontwikkeling.

vroeg embryonaal stadium



opdrachten

- ▼ **Afb. 29** Een poot van een fruitvliegje met een oog erop.



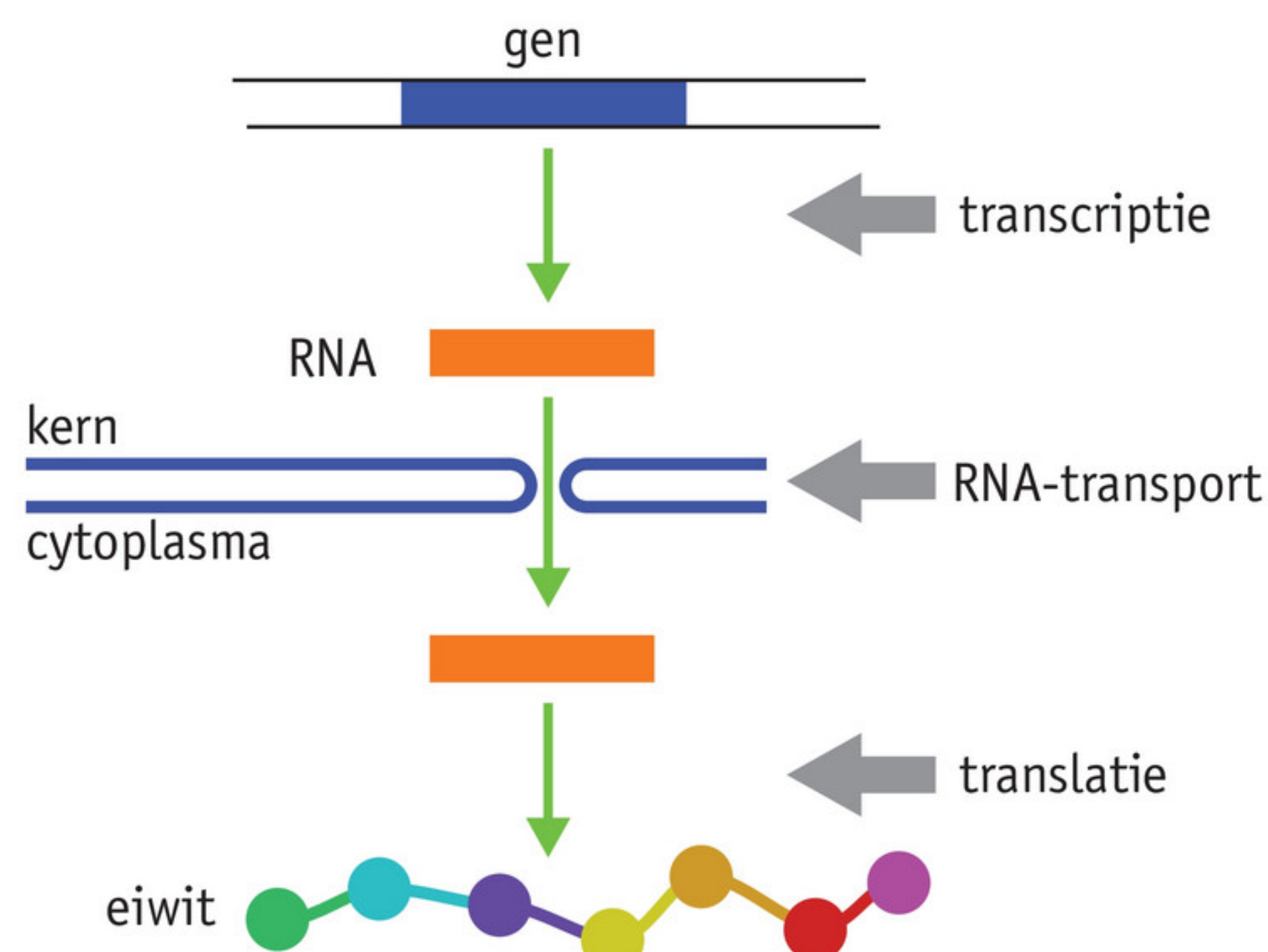
- 19 Welk type stamcel is een bevruchte eicel? En welk type stamcel is een huidstamcel?
- 20 Bij fruitvliegjes produceert het regulatorgen *Ey* een eiwit dat genen aanzet die verantwoordelijk zijn voor de vorming van een oog. Door kunstmatig ingrijpen van onderzoekers in een vroeg embryonaal stadium, ontstaan fruitvliegjes met een oog op hun poot (zie afbeelding 29).
 - a Beschrijf hoe de onderzoekers hebben ingegrepen in de embryonale ontwikkeling. Gebruik hierbij de volgende woorden: *differentiëren* – *expressie* – *Ey-gen*.
 - b Wat tonen de onderzoekers met dit experiment aan?
- 21 Bij mensen wordt op het moment van de bevruchting bepaald of het embryo een vrouw of een man wordt. Dit hangt af van het paar geslachtschromosomen in een bevruchte eicel: XX of XY. Het SRY-gen dat is gelegen op het Y-chromosoom, stuurt de ontwikkeling van een embryo tot een man. Het gen produceert eiwitten die een aantal andere genen activeren en die de genen van het X-chromosoom onderdrukken. Hierdoor ontwikkelt het embryo zich uiteindelijk tot een man. Toch zijn alle embryo's in de eerste vijf tot zes weken vrouwelijk.
 - a Geef een verklaring voor het feit dat alle embryo's de eerste vijf tot zes weken fenotypisch vrouwelijk zijn.
 - b Op het moment van de bevruchting ligt vast tot welk geslacht een embryo zich gaat ontwikkelen.
Leg uit hoe het dan mogelijk is dat mannen tepels hebben.
 - c Bij iemand waarbij het SRY-gen op het Y-chromosoom niet tot expressie komt, is het fenotype in strijd met het genotype. Leg dat uit.

GENREGULATIE BIJ VOLWASSEN EUKARYOTEN

Ook bij volwassen eukaryoten is de genexpressie afhankelijk van de functie van de cel en van de omstandigheden. De cel maakt hierdoor geen overbodige producten. In een menselijke cel komen op een willekeurig moment gemiddeld 3% tot 5% van de genen tot expressie.

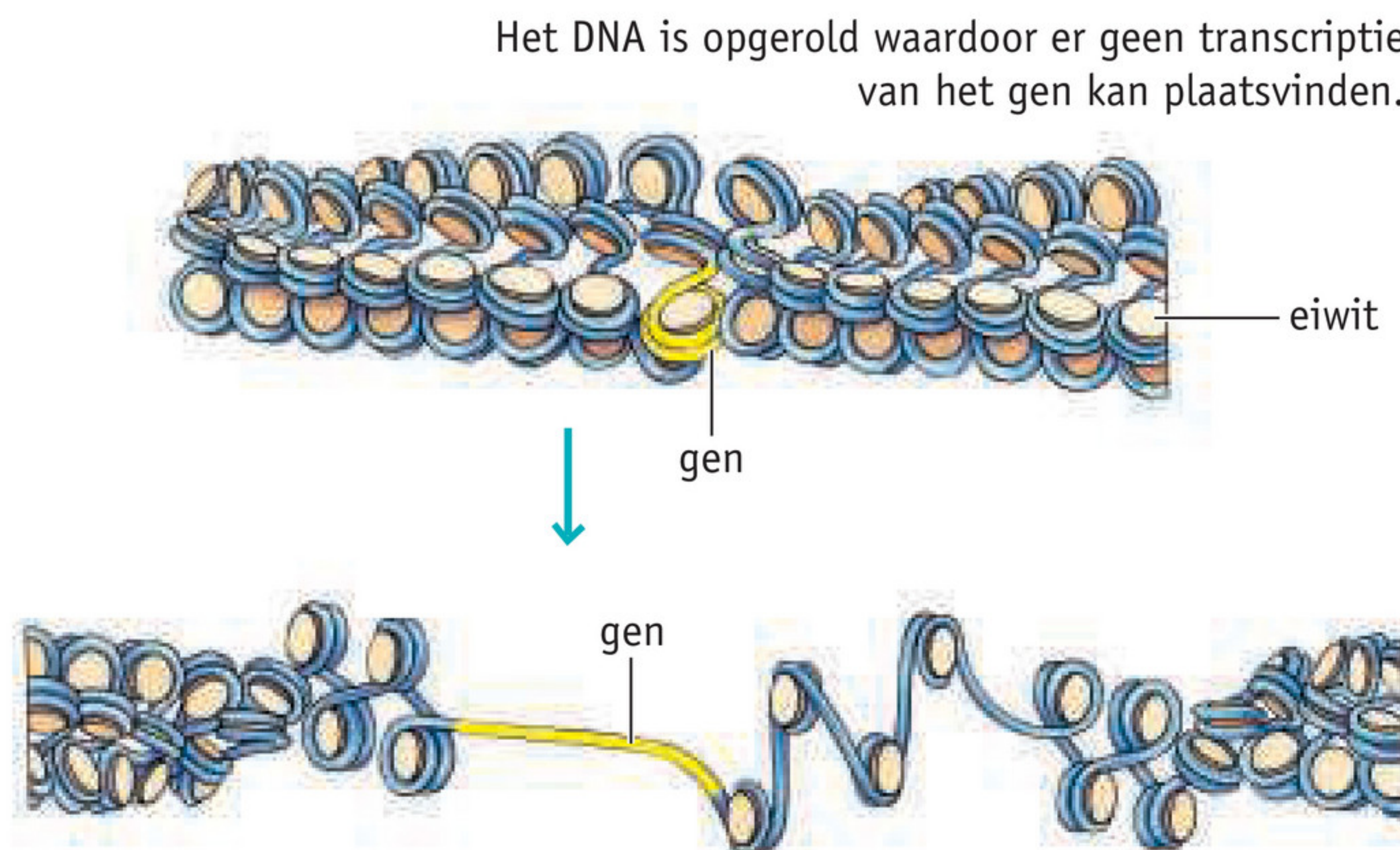
Alle stappen in de genexpressie kunnen worden gereguleerd (zie afbeelding 30), maar het belangrijkste controlepunt is het wel of niet laten plaatsvinden van transcriptie. Een gen kan worden uitgezet doordat bijvoorbeeld repressors binden aan bepaalde sequenties in het DNA. Zij blokkeren daardoor de transcriptie.

- **Afb. 30** Mogelijkheden voor genregulatie bij de eiwitsynthese.



Bij eukaryote organismen moet het compacte DNA eerst worden ontvouwd om transcriptie mogelijk te maken (zie afbeelding 31). Door DNA compact te maken, kan er geen transcriptie plaatsvinden langs het DNA en wordt de genexpressie geblokkeerd.

- **Afb. 31** DNA ontvouwt zich om transcriptie mogelijk te maken.



Bepaalde stoffen kunnen de eiwitten in het DNA ertoe aanzetten om het DNA steviger of juist losser te binden. Dat bepaalt de mate waarin het DNA is af te lezen. Soms is DNA op bepaalde plaatsen niet meer af te lezen doordat er methylgroepen ($-\text{CH}_3$) aan de stikstofbasen in het DNA zijn gebonden (meestal aan cytosine). Dit noem je **DNA-methylering**. De volgorde van de nucleotiden verandert hierdoor niet. Wanneer bij een organisme bepaalde genen zijn gemethyleerd, wordt bij elke celdeling de nieuwe DNA-streng die na replicatie is ontstaan, ook gemethyleerd. Op deze manier kunnen methyleringspatronen zelfs worden doorgegeven aan het nageslacht.

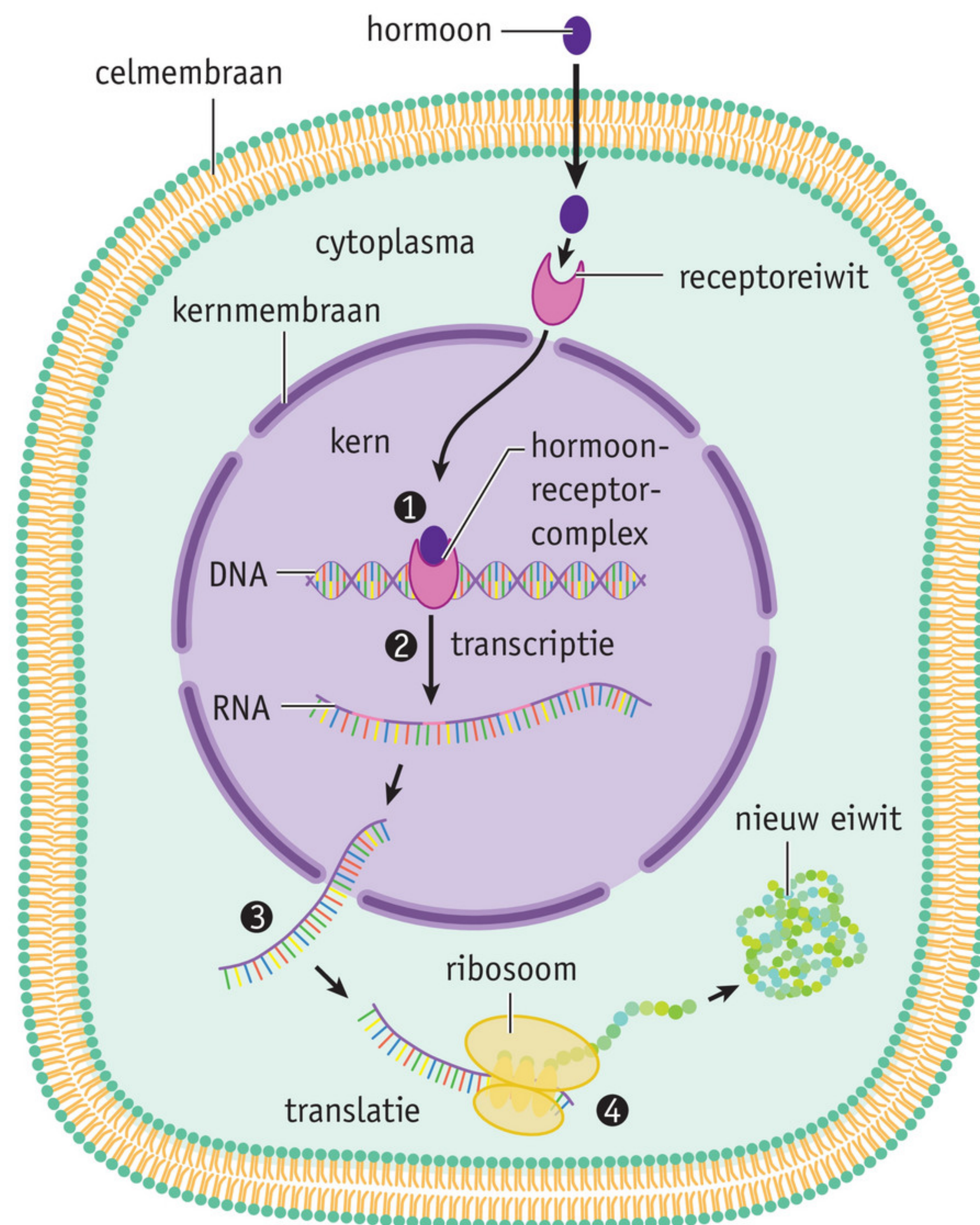
EPIGENETICA

De wetenschap van de **epigenetica** houdt zich bezig met het bestuderen van omkeerbare veranderingen in de activiteit van genen, die niet het gevolg zijn van veranderingen in de nucleotidevolgorde van het DNA. Voorbeelden hiervan zijn het steviger of losser binden van DNA door de eiwitten in DNA en DNA-methylering. De nucleotidevolgorde van het DNA bepaalt welke eiwitten een gen aanmaakt. De activiteit van een gen wordt beïnvloed door de celfunctie en de omstandigheden. Invloeden die de werking van genen beïnvloeden, noem je de **epigenetische factoren**. Voorbeelden hiervan zijn stress, voeding en drugs. Deze factoren kunnen gunstig of ongunstig zijn doordat zij de genregulatie veranderen en daardoor de aanmaak van eiwitten beïnvloeden. Door genen aan of uit te zetten, kun je je snel aanpassen aan de omstandigheden. De overlevingskansen van een organisme zijn dan groter en dat is een evolutionair voordeel. Door DNA-methylering kunnen genen voor langere tijd worden aan- of uitgezet. Bij DNA-replicatie wordt deze toestand doorgegeven aan dochtercellen en bij de voortplanting aan het nageslacht. Wanneer de omstandigheden hetzelfde blijven, levert dit een evolutionair voordeel op voor het organisme en zijn nakomelingen. Wanneer de omstandigheden veranderen, kan het een nadeel zijn.

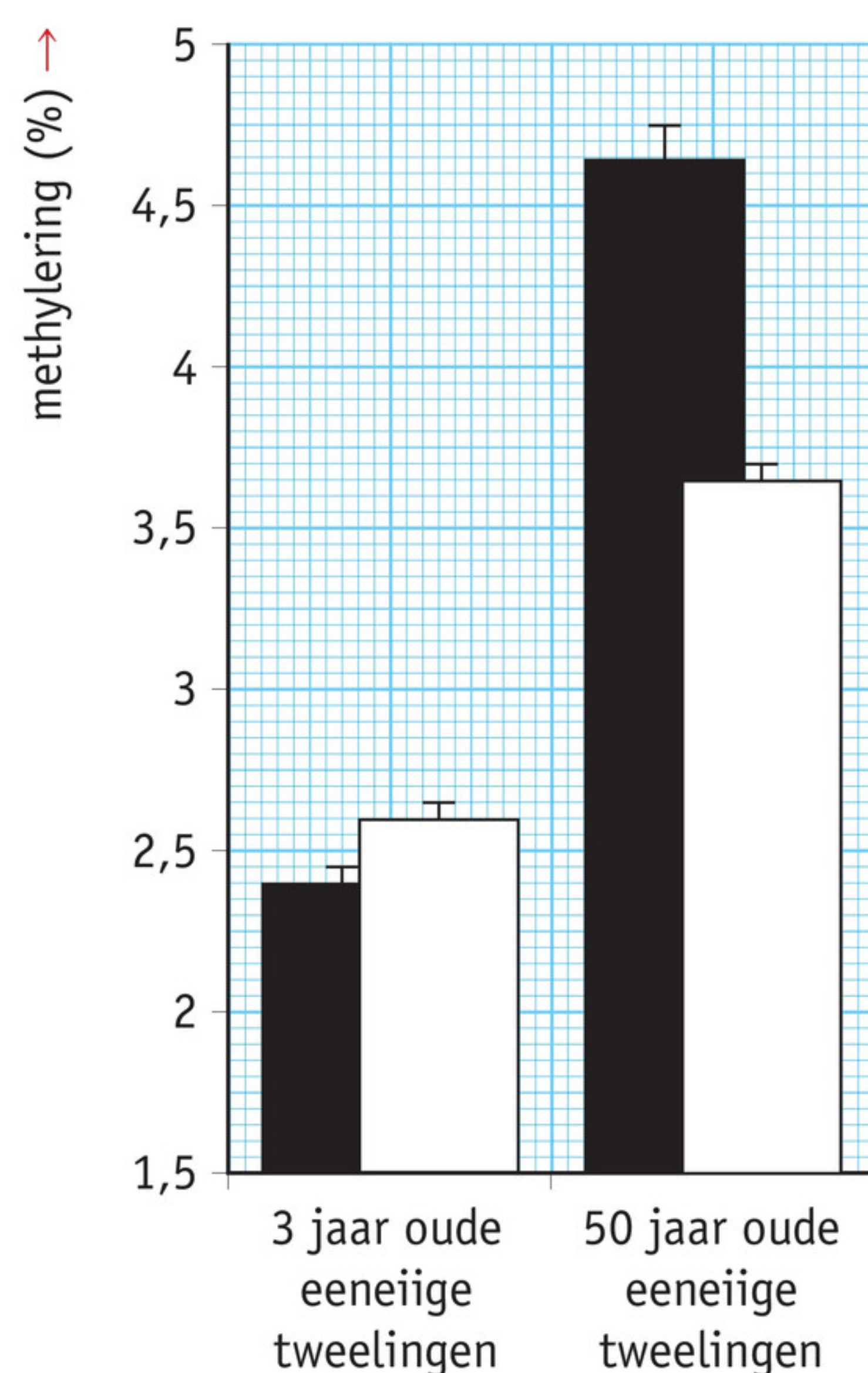
opdrachten

- 22 a** Hoe kunnen zenuwcellen en huidcellen zich zo verschillend hebben ontwikkeld, terwijl in deze cellen hetzelfde DNA aanwezig is?
- b** Met behulp van stamceltherapie hopen onderzoekers bij patiënten beschadigde cellen of zelfs hele organen te kunnen vervangen. De stamcellen zijn vaak afkomstig van embryo's. Inmiddels kunnen ook bijvoorbeeld huidcellen direct worden omgevormd tot stamcellen door een paar RNA-ketens aan de huidcellen toe te voegen. Leg uit hoe dit kan.
- c** Sommige hormonen beïnvloeden cellen door genregulatie. In afbeelding 32 zie je de reeks van processen die plaatsvindt wanneer een hormoon bindt aan een receptoreiwit. Geef een korte beschrijving van de processen of de naam van het proces.

► **Afb. 32** Genregulatie bij eukaryoten (schematisch).



▼ **Afb. 33** DNA-methylering.

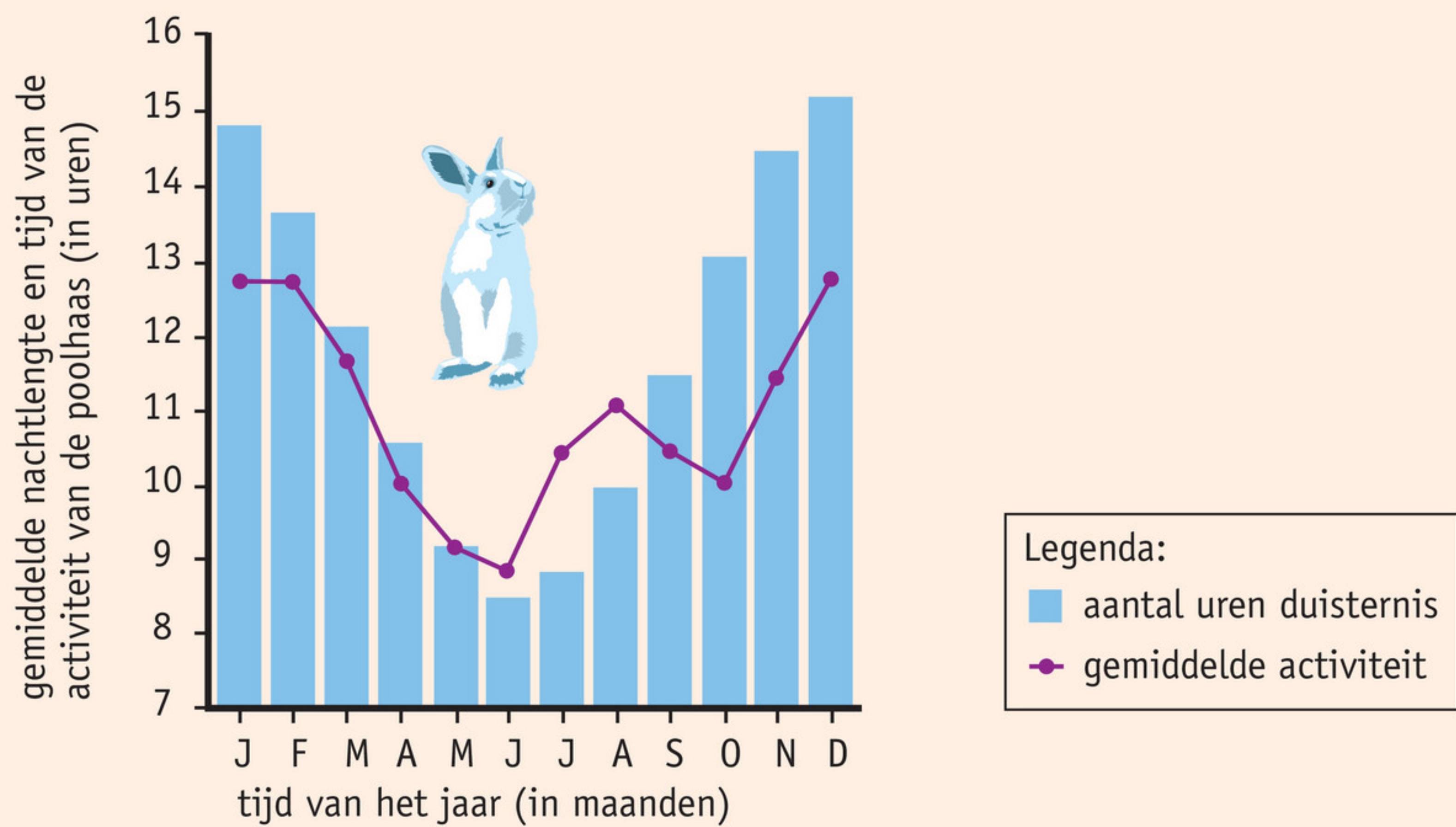


- 23 a** In stresssituaties produceert de bijnierschors meer van het hormoon cortisol (stresshormoon). Wanneer zwangere vrouwen gedurende langere tijd worden blootgesteld aan stress, wordt later bij hun kinderen vaak een verhoogd cortisolgehalte gemeten. Leg dat uit.
- b** Wat is het verschil in ontstaan tussen erfelijke aandoeningen en epigenetische aandoeningen?
- c** Op welke twee manieren komen epigenetische aandoeningen tot stand?
- d** Op welke manier kunnen epigenetisch verworven eigenschappen een evolutionair voordeel opleveren?
- 24** Eeneiige tweelingen zijn genetisch identiek. In het begin van hun leven verschillen ze ook epigenetisch nauwelijks. In afbeelding 33 zie je het percentage DNA-methylering bij tweelingen van 3 jaar en tweelingen van 50 jaar oud.
- a** Vergelijk de percentages. Welke conclusie kun je trekken?
- b** Als de leden van een eeneiige tweeling apart zijn opgegroeid, is het epigenetische verschil nog groter. Leg dat uit.
- c** Verklaar waarom één persoon van een eeneiige tweeling soms een bepaalde aandoening heeft en de andere niet. Maak gebruik van de informatie in afbeelding 33.

Verandering van vachtkleur

Ijsberen en sneeuwuielen hebben het hele jaar door een witte vacht. Poolhazen, hermelijnen, lemmingen en poolvossen hebben een witte wintervacht en een bruine zomervacht. Deze pooldieren hebben genen die ervoor zorgen dat de vachtkleur wordt aangepast aan het seizoen. Dat gebeurt onder invloed van de hoeveelheid licht. Behalve staafjes en kegeltjes bevat het netvlies bij zoogdieren lichtreceptoren met het lichtgevoelige pigment melanopsine. Door licht wordt melanopsine in de lichtreceptoren afgebroken waardoor er impulsen ontstaan die door zenuwcellen worden doorgegeven aan cellen in de hypothalamus. Deze cellen maken het hormoon melatonine aan dat de productie van het pigment melanine in de vacht stimuleert.

► **Afb. 34** Gemiddeld aantal uren duisternis en gemiddeld aantal uren activiteit van de poolhaas per maand.



opdracht

- 25 Bekijk in afbeelding 34 wanneer een poolhaas de meeste activiteit vertoont.
- a Welke conclusie kun je hieruit trekken over de leefwijze van een poolhaas?

b Een melanocyt is een bepaald type huidcel. Wanneer melatonine bindt aan een receptor in het membraan van een melanocyt, komt in het DNA een gen tot expressie waardoor een zwart pigment (eumelanine) of rood pigment (feomelanine) wordt geproduceerd.
Wat bepaalt of er een rood of zwart pigment wordt geproduceerd door een melanocyt?

c Leg uit hoe een witte vacht bij poolhazen in de winter ontstaat. Gebruik hierbij afbeelding 34.

d Melatonine zorgt er bij mensen voor dat ze slaperig worden. Licht remt de aanmaak van melatonine. Ook het licht van computers en smartphones remmen de aanmaak van deze stof.
Leg uit waarom het wordt afgeraden om twee uur voordat je gaat slapen gebruik te maken van een computer of smartphone.

e De opwarming van de aarde kan de overlevingskansen van de poolhaas verkleinen. Leg dat uit.

Leerdoel

- Je kunt de verschillende typen en uitwerkingen van mutaties beschrijven.

5 Mutaties

Mutaties kunnen de gewoonten van een organisme sterk veranderen. Zo hebben panda's door een mutatie hun smaak voor vlees verloren en zijn ze bamboe gaan eten. Maar wat verdween er eerst: het vlees of de smaak voor vlees?

MUTATIES

Tijdens de replicatie van DNA ontstaan regelmatig fouten, waardoor een verandering in de nucleotidevolgorde ontstaat. Zo'n verandering in het DNA van een cel noem je een **mutatie**. Er zijn verschillende typen mutaties. Zo kan het aantal nucleotiden dat betrokken is bij mutaties verschillen. Het kan gaan om één nucleotidepaar, enkele nucleotideparen, een lange sequentie van DNA of een heel chromosoom. Bij sommige mutaties is er sprake van vervanging van nucleotiden door andere nucleotiden. Bij andere mutaties worden nucleotiden uit het DNA verwijderd of worden nucleotiden aan het DNA toegevoegd.

Veel mutaties hebben afwijkingen tot gevolg en kunnen voor een individu nadelig zijn. Maar door mutaties neemt ook de genetische variatie in de nakomelingen toe. Als de omstandigheden veranderen, kunnen mutaties zo een voordeel opleveren voor een individu of populatie.

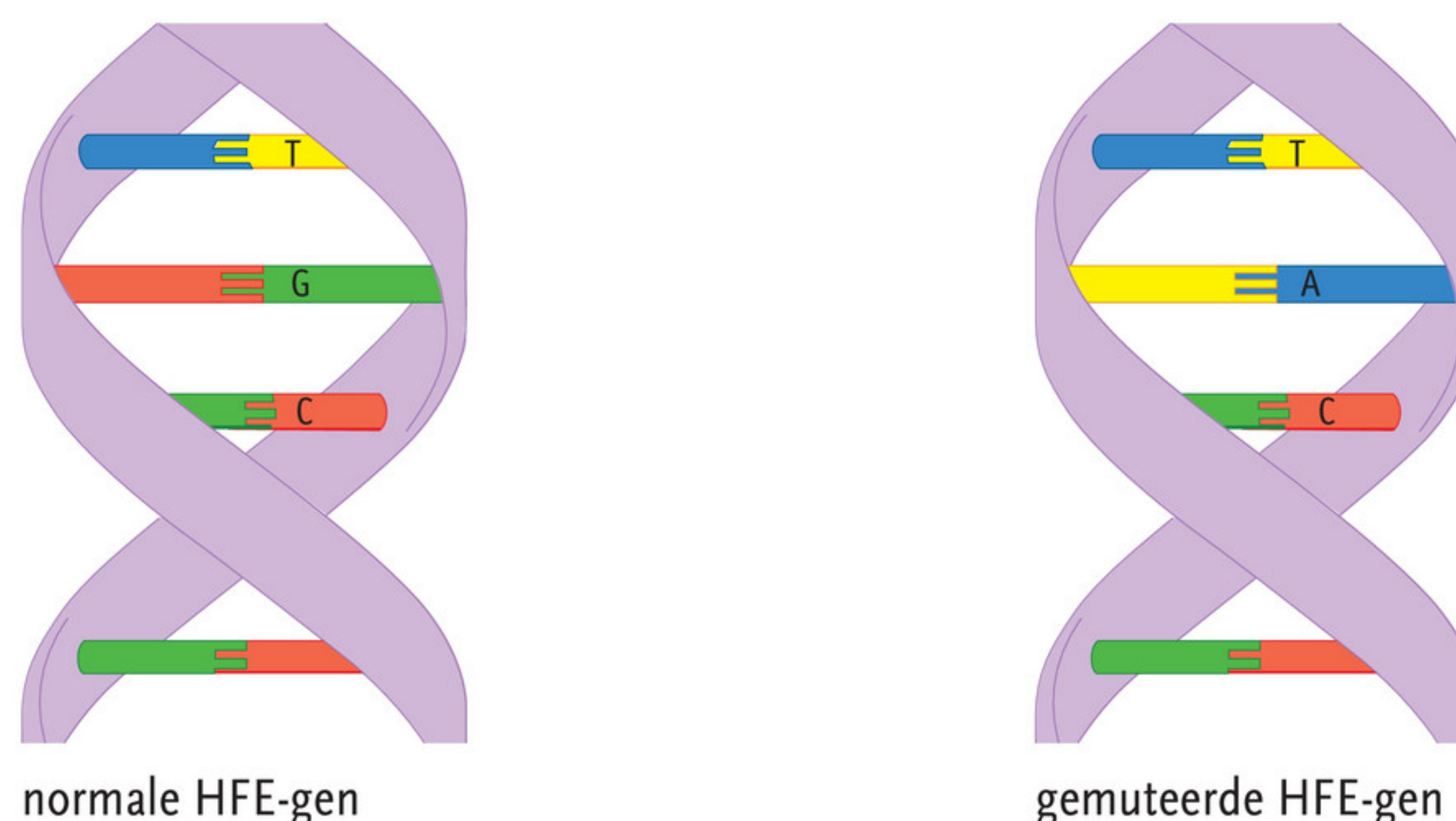
PUNTMUTATIES

Een **puntmutatie** is een verandering in één nucleotidepaar. Dit kan een vervanging zijn van een nucleotidepaar door een ander nucleotidepaar. Het kan ook een invoeging of een verwijdering van een nucleotidepaar zijn.

opdracht

- 26** Hemochromatose is een erfelijke aandoening waarbij de transporteiwitten, die ijzer vanuit de dunne darm naar de bloedvaten transporteren, veel meer ijzer dan normaal vervoeren. Hemochromatose wordt veroorzaakt door een puntmutatie in het HFE-gen. In afbeelding 35 is de puntmutatie in dit gen schematisch weergegeven. Gebruik bij opdracht a en b de genetische code (*Binas* tabel 71G of afbeelding 19).
- Voor welk aminozuur codeert het codon TGC in het normale HFE-gen?
 - Voor welk aminozuur codeert het codon TAC in het gemuteerde HFE-gen?
 - Welke gevolgen heeft de mutatie in het HFE-gen voor de samenstelling van het transporteiwit voor ijzer?
 - Heeft de mutatie ook gevolgen voor de werking van het transporteiwit? Leg je antwoord uit.

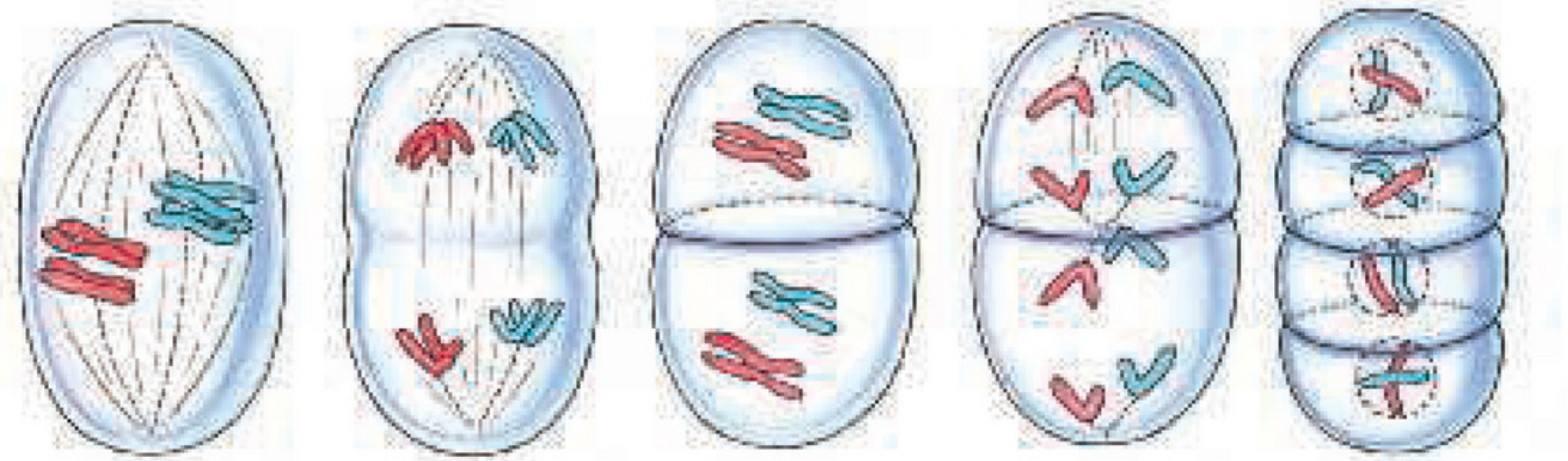
► **Afb. 35** Puntmutatie (schematisch).



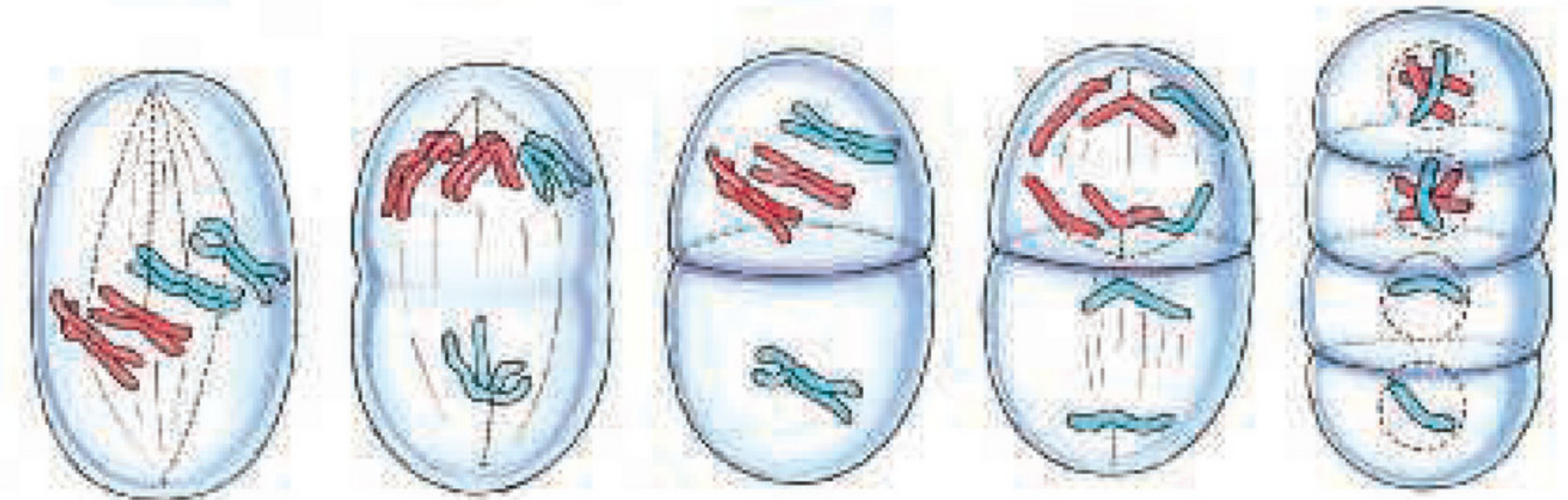
GENOOMMUTATIES

Bij **genoommutaties** verandert het aantal chromosomen in een cel. Genoommutaties kunnen optreden doordat tijdens meiose I een paar chromosomen bij elkaar blijft.

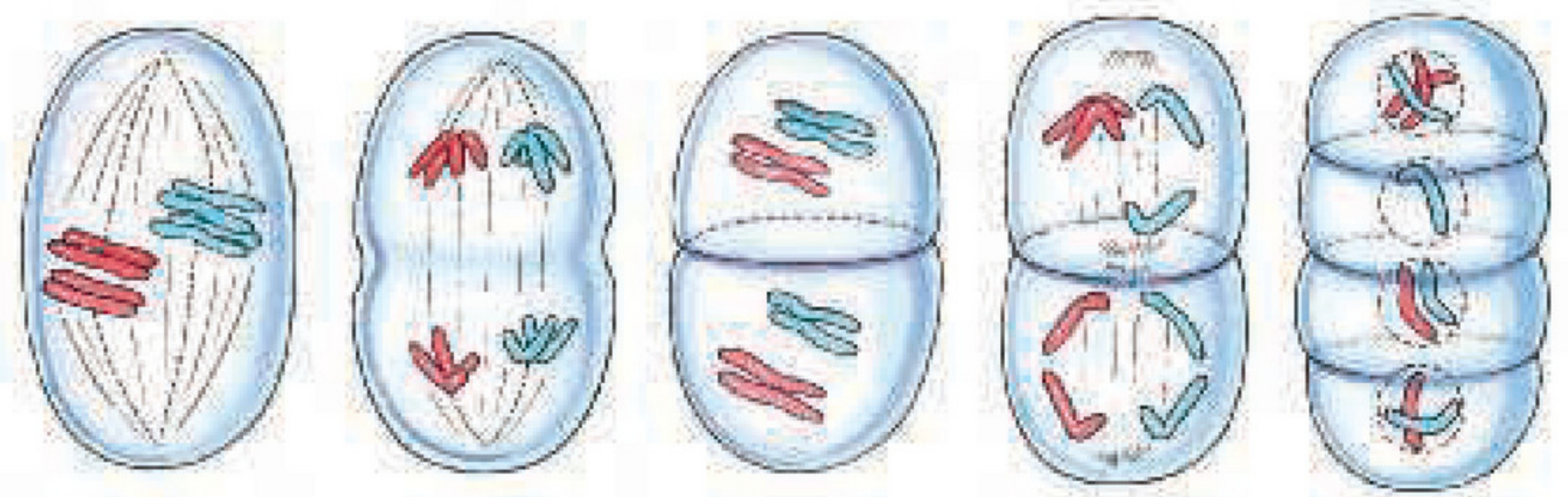
► **Afb. 36** Meiose (er zijn steeds maar twee chromosomen getekend).



1 normaal verloop



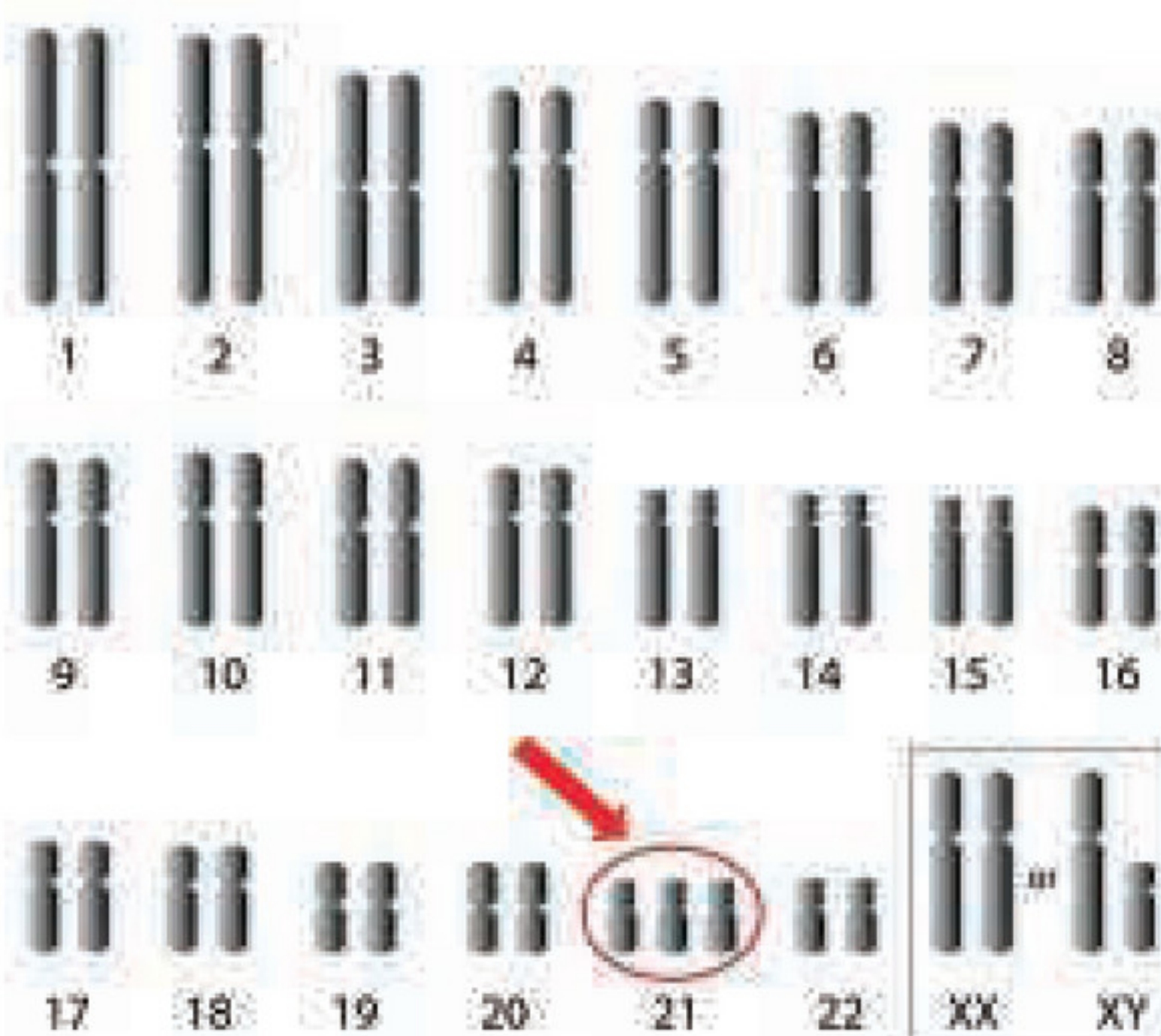
2 genoommutatie tijdens meiose I



3 genoommutatie tijdens meiose II

Beide chromosomen gaan naar dezelfde pool en komen samen in een van de dochtercellen terecht (zie afbeelding 36.2). Genoommutaties kunnen ook optreden doordat tijdens meiose II twee chromatiden bij elkaar blijven (zie afbeelding 36.3). Bij beide genoommutaties ontstaan geslachtscellen waarin één chromosoom dubbel voorkomt en geslachtscellen waarin één chromosoom ontbreekt.

▼ **Afb. 37** Karyogram van een persoon met het syndroom van Down.



Na bevruchting met een geslachtscel met een afwijkend chromosomenaantal ontstaat een zygote met één chromosoom te veel of één chromosoom te weinig. Meestal is de zygote dan niet levensvatbaar.

Een voorbeeld van een genoommutatie is het ontstaan van een kind met het syndroom van Down. Hierbij komt het eenentwintigste chromosoom in drievoud voor in de celkern (zie afbeelding 37). Het afwijkende chromosomenaantal veroorzaakt vaak een achterstand in de geestelijke ontwikkeling en een kenmerkend uiterlijk (zie afbeelding 38).

- **Afb. 38** Een jongen met het syndroom van Down.



- ▼ **Afb. 39** Basaalcelcarcinoom is de meest voorkomende vorm van huidkanker.



OORZAKEN VAN MUTATIES

Mutaties kunnen spontaan plaatsvinden, maar door blootstelling aan **mutagene straling** (zoals radioactieve straling, röntgenstraling of ultraviolette straling), **mutagene stoffen** (zoals stoffen in sigarettenrook en asbest) of aan virussen, komen ze vaker voor. Deze mutagene invloeden verhogen de frequentie waarmee mutaties plaatsvinden.

Bij het gebruik van röntgenapparatuur komt mutagene straling vrij. Hoewel deze straling minder schadelijk is dan radioactieve straling, worden er bij een patiënt niet meer röntgenfoto's gemaakt dan strikt noodzakelijk is. Bestraling van de voortplantingsorganen wordt daarbij vermeden. Elke keer dat je aan röntgenstralen wordt blootgesteld, kan het DNA in lichaamscellen worden beschadigd door mutaties. Door de mutagene werking van ultraviolette straling in zonlicht kan huidkanker ontstaan (zie afbeelding 39).

DNA-REPARATIE

In een celkern zijn continu enzymen werkzaam die beschadigingen opsporen en repareren. Ze verwijderen verkeerd ingebouwde stikstofbasen of nucleotiden uit het DNA. Vervolgens zorgt DNA-polymerase ervoor dat de juiste nucleotiden worden ingebouwd. Doordat wijzigingen in het DNA onmiddellijk worden gerepareerd, zijn de meeste tijdelijk. Maar als DNA-replicatie plaatsvindt voordat de reparerende enzymen hun werk hebben voltooid, zullen de dochtercellen dezelfde DNA-schade hebben. Daarom zorgt het **tumorsuppressorgen** ervoor dat de celcyclus stil komt te liggen. Door expressie van het tumorsuppressorgen worden eiwitten gemaakt die voorkomen dat een cel zich deelt voordat de DNA-reparatie is afgerond. Zo kan eerst de schade worden hersteld. De eiwitten zorgen er tevens voor dat een cel met te veel of onherstelbare DNA-schade wordt afgebroken en overgaat tot celdood.

DE EFFECTEN VAN MUTATIES

Het effect van mutaties hangt af van het type cel waarin de mutatie plaatsvindt en van de aard van de mutatie. Wanneer een mutatie optreedt in een geslachtscel, in een bevruchte eicel of in een cel van een embryo, kan dat grote gevolgen hebben. Alle cellen van de nakomeling bevatten dan deze mutatie. Het effect van mutaties in lichaamscellen is vaak gering en deze mutaties zijn bovendien niet erfelijk. Maar mutaties in lichaamscellen kunnen wel leiden tot kanker.

Sommige mutaties hebben geen merkbare gevolgen. Ze veranderen het genotype, maar hebben geen invloed op het fenotype. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een mutatie heeft plaatsgevonden in een lichaamscel, of wanneer het gen waarin

de mutatie heeft plaatsgevonden uit staat. Soms verandert de werking van een eiwit niet door een mutatie. Ook kan door een mutatie een recessief allel ontstaan. Het allel in het andere chromosoom dat nog intact is, bevat dan de code voor een ongewijzigd, werkzaam eiwit. Mutaties kunnen ook een positief effect hebben. Ze kunnen een rol spelen bij de evolutie en ervoor zorgen dat een mutant een grotere overlevingskans heeft ten opzichte van soortgenoten zonder deze mutatie. Hierdoor neemt de overlevingskans van de populatie toe. En door opeenvolgingen van mutaties, recombinate en natuurlijke selectie kunnen nieuwe soorten ontstaan.

opdrachten

- 27 a** Noteer drie oorzaken waardoor een opgetreden mutatie meestal geen merkbare gevolgen heeft.
- b** Leg uit hoe het komt dat gemuteerde allelen meestal recessief zijn.
- c** Soms ontstaat door een mutatie een allel dat zorgt voor de synthese van een eiwit dat een werkzaam enzym blokkeert. Is zo'n mutatie ook recessief? Leg je antwoord uit.
- 28** Het syndroom van Turner is een chromosomale afwijking waarbij vrouwen een X-chromosoom missen. Vrouwen met het syndroom worden niet langer dan 1,50 meter, hebben gezwollen handen en voeten, een brede borstkas en hals, ver uit elkaar staande tepels en hebben last van hart- en nierproblemen. De voortplantingsorganen ontwikkelen zich alleen wanneer hormonen worden toegediend.
- a** Welk type mutatie is opgetreden bij het syndroom van Turner?
- b** Leg uit hoe de mutatie ontstaat en hoe een vrouw hierdoor een X-chromosoom mist.

HET ONTSTAAN VAN KANKER

De snelheid waarmee celdeling in verschillende lichaamsdelen plaatsvindt, wordt nauwkeurig geregeld door tumorsuppressorgen en proto-oncogenen.

Proto-oncogenen coderen voor eiwitten die de celgroei en de celdifferentiatie stimuleren. De celdeling bij de productie van rode bloedcellen in het rode beenmerg bijvoorbeeld vindt zeer snel plaats. De celdeling in bindweefsel verloopt langzaam. Maar een diepe vleeswond groeit vrij snel dicht met bindweefsel (littekenweefsel). Als de wond dicht is, neemt de snelheid van celdeling weer af. Het nauwe contact met de omringende cellen remt de celdeling.

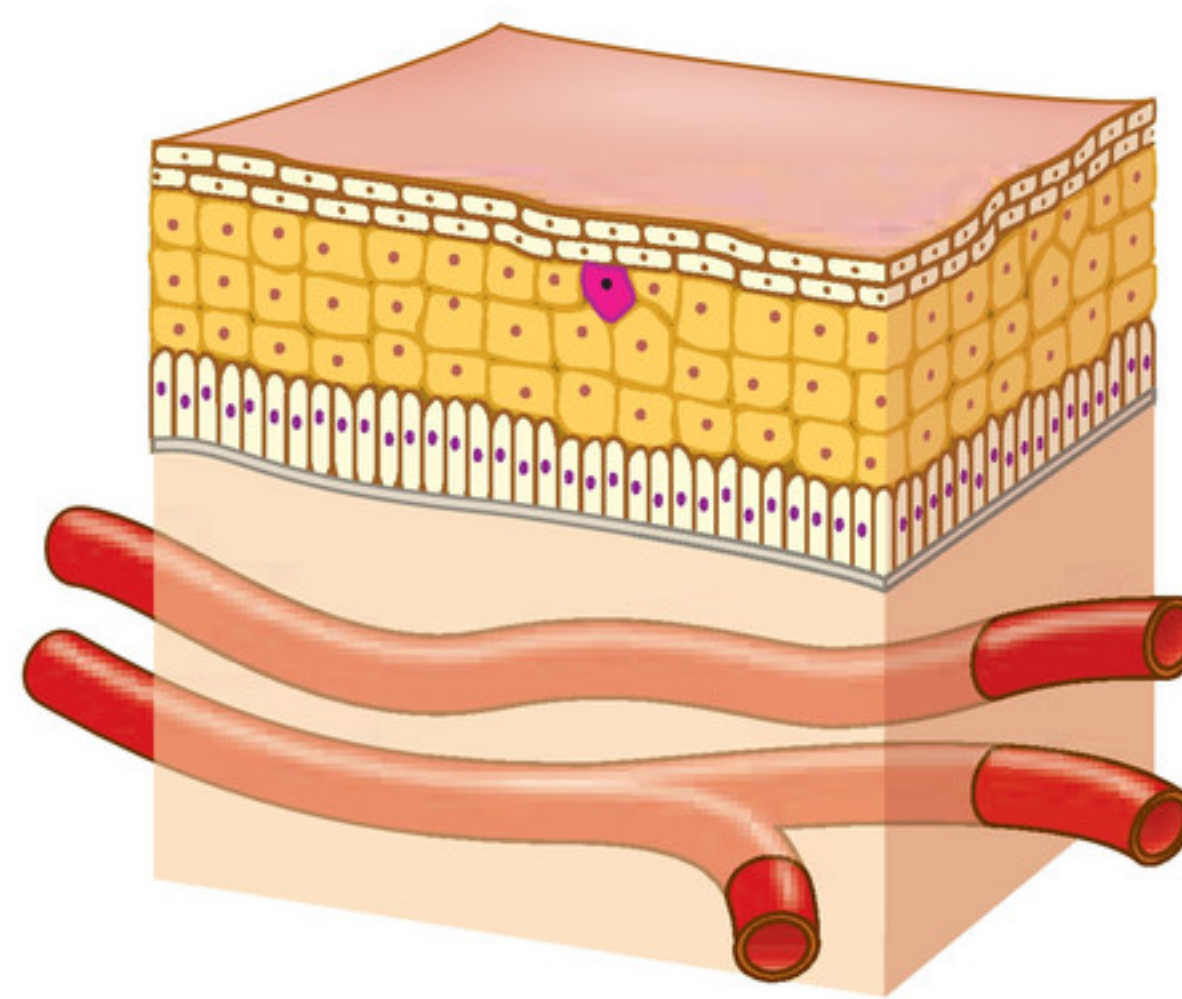
Soms kunnen cellen zich ongeremd gaan delen. Bijvoorbeeld wanneer een mutatie plaatsvindt in een tumorsuppressorgen en in een proto-oncogen. Door een mutatie in een tumorsuppressorgen is er geen rem meer op de celcyclus, waardoor schade aan het DNA niet meer wordt hersteld voordat de cel zich deelt. De dochtercellen hebben dan dezelfde DNA-schade en cellen met te veel of onherstelbare DNA-schade zullen niet overgaan tot celdood. Zo komen er steeds meer cellen met DNA-schade bij en het DNA in deze cellen zal bovendien steeds verder beschadigd raken.

Een proto-oncogen kan door een mutatie veranderen in een **oncogen**. Een oncogen zet een cel aan tot abnormaal snel groeien en delen. Wanneer een tumorsuppressorgen er in zo'n geval niet voor zorgt dat de cel overgaat tot celdood, kan een gezwel (**tumor**) ontstaan. Sommige tumoren groeien langzaam doordat de remmende stoffen uit de omringende cellen nog invloed hebben op de delingssnelheid. Wanneer zo'n tumor de bouw van het weefsel niet verstoort

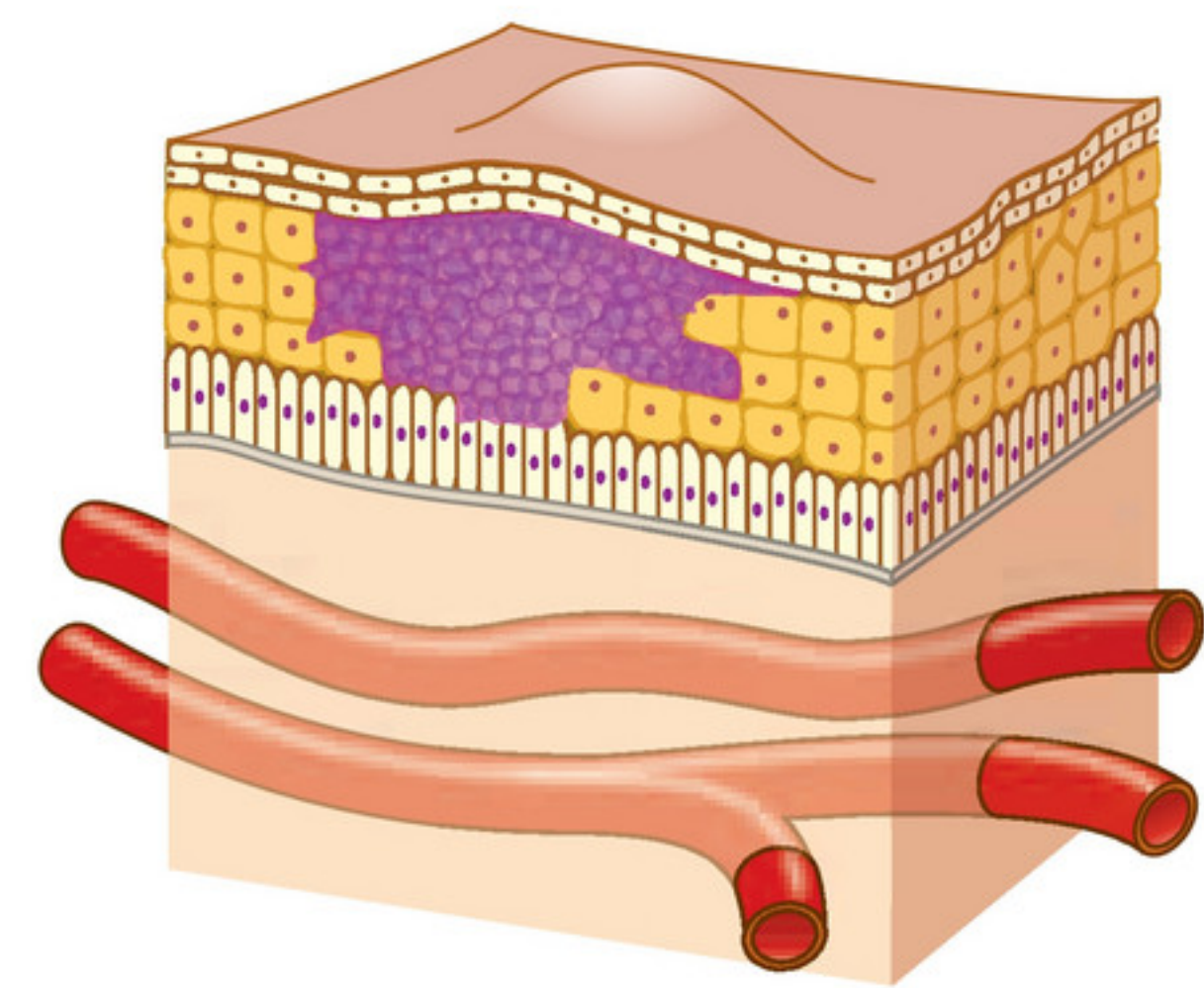
en er geen cellen loslaten die elders uitzaaiingen veroorzaken, noem je een tumor goedaardig. Als een **goedaardige tumor** klachten veroorzaakt, kan hij operatief worden verwijderd.

Bij kanker ontstaan **kwaadaardige tumoren**. Door mutaties in meerdere genen is de cel ongevoelig geworden voor stoffen die de celdeling remmen. De delingssnelheid van de cellen is hierdoor bij een kwaadaardige tumor veel hoger dan bij een goedaardige tumor. De cellen hebben een afwijkende vorm en kunnen niet goed functioneren. Ook verstoren ze de bouw van de weefsels en worden er bloedvaten aangelegd naar de tumor om deze te voorzien van zuurstof en voedingsstoffen (zie afbeelding 40). Het eerste gezwel dat bij kanker ontstaat, heet een primaire tumor. Wanneer cellen van de primaire tumor loslaten, komen ze via het bloed of de lymfe in andere organen terecht. Hier kunnen ze uitgroeien tot secundaire tumoren. De uitzaaiing van tumoren naar andere lichaamsdelen heet **metastase**.

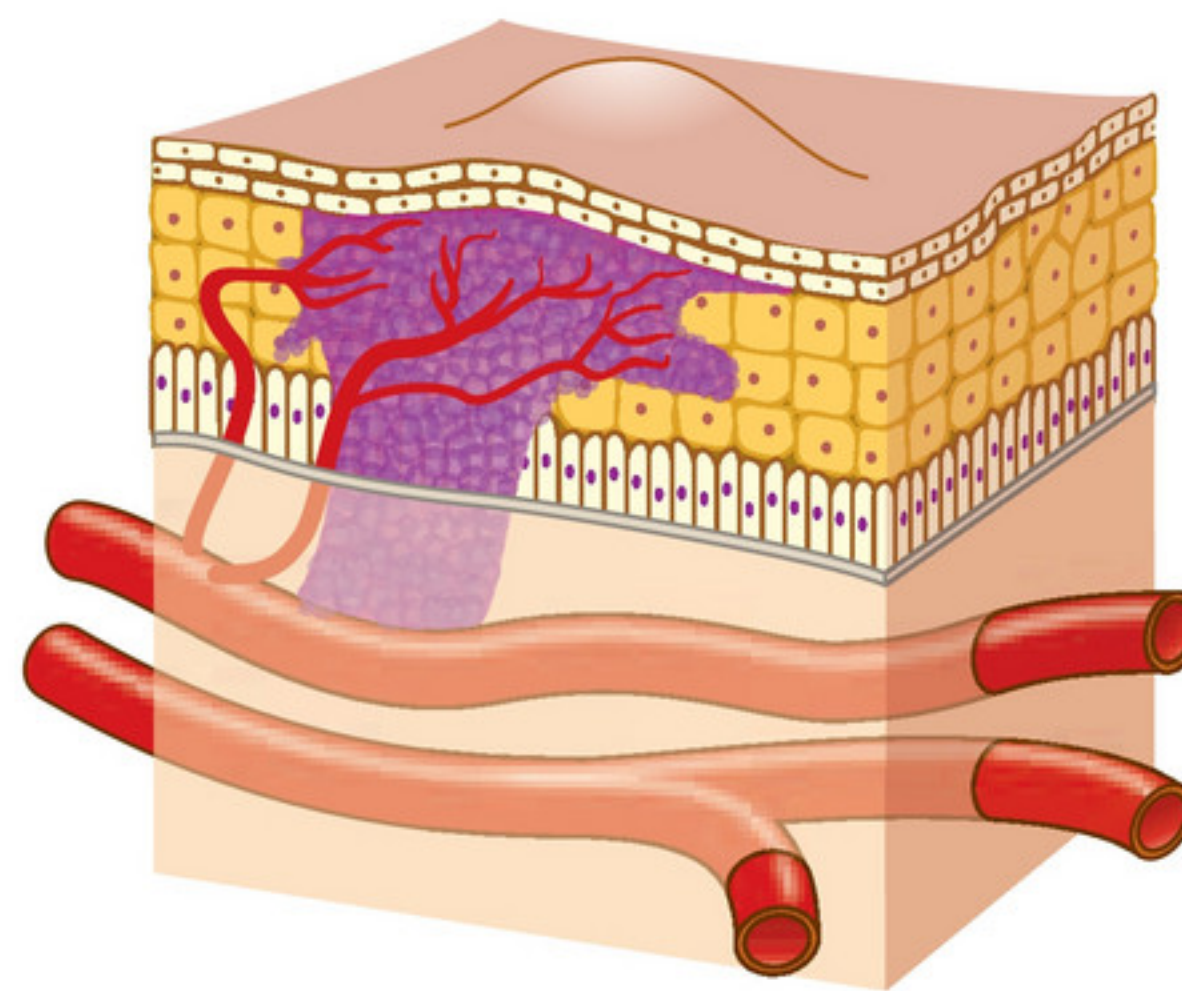
► **Afb. 40** Het ontstaan van kanker.



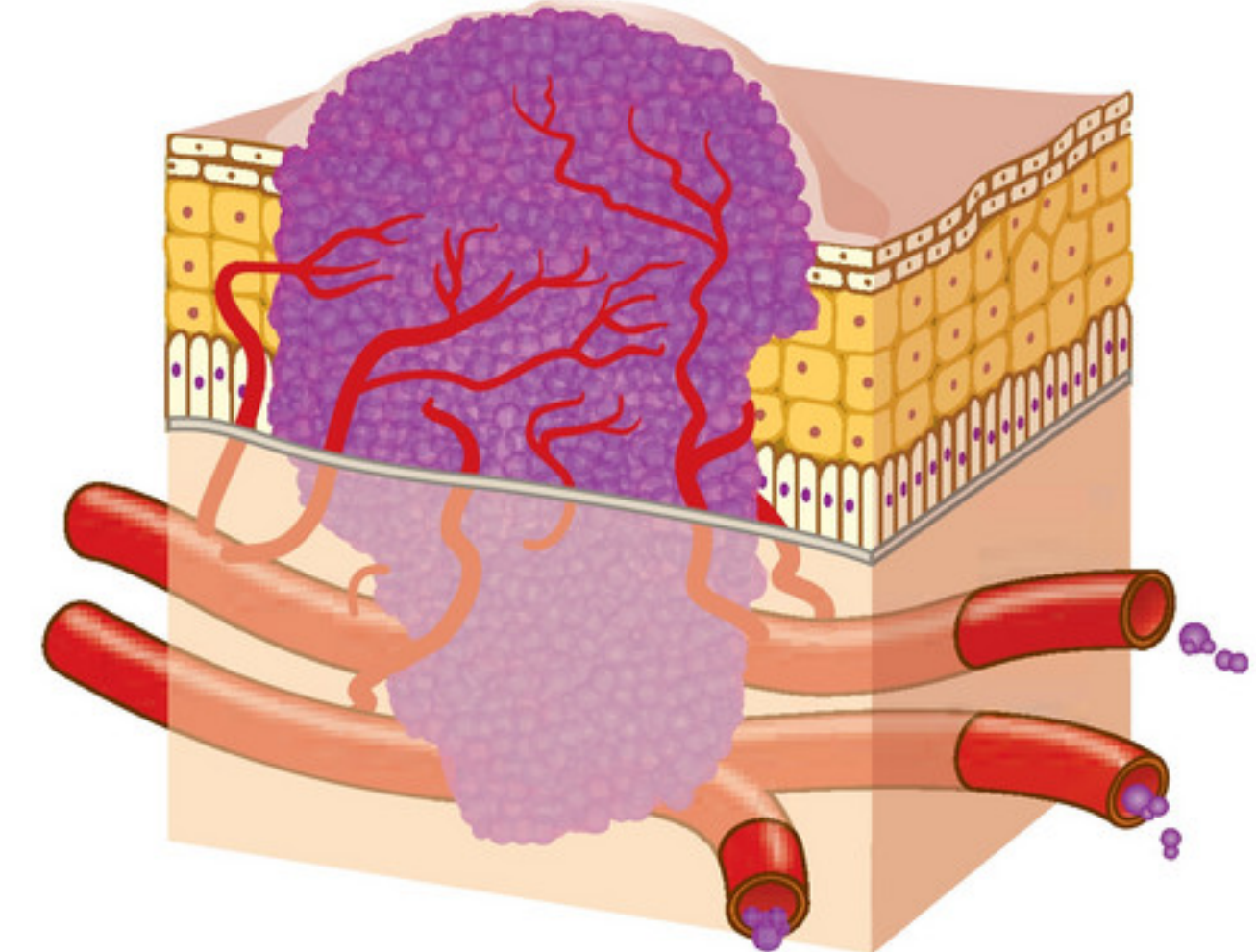
1 Bij één cel zijn mutaties opgetreden, waardoor de cel een tumorcel wordt.



2 De tumorcel deelt zich ongeremd.



3 Er is een primaire tumor ontstaan, waar bloedvaten naartoe zijn gegroeid.



4 Er vindt metastase plaats.

opdrachten

- 29 a** Het is belangrijk om een tumor in een vroeg stadium op te sporen. Leg dat uit.
- b** Waarom komt kanker meer voor bij oudere mensen dan bij jongere mensen?
- c** Een primaire tumor kan operatief worden verwijderd. Ook kan er radiotherapie worden toegepast, waarbij de tumorcellen door bestraling worden gedood. Wanneer er sprake is van metastase wordt na een operatie vaak nog chemotherapie toegepast. Er worden dan stoffen (cytostatica) aan de patiënt gegeven die de celdeling remmen.
Leg uit waardoor een operatie bij kanker gewoonlijk geen genezing brengt als er metastase is opgetreden.
- d** Welke therapie wordt het vaakst toegepast wanneer er bij een patiënt al metastase is opgetreden: radiotherapie of chemotherapie? Leg je antwoord uit.

- e Er worden medicijnen ontwikkeld om de groei van bloedvaatjes naar een tumor tegen te gaan.
Wat is het effect van deze medicijnen op de ontwikkeling van de tumor?
 - f Welke schadelijke invloed hebben cytostatica op je lichaam?
- 30** Bij geringe celschade komt bij eukaryoten het tumorsuppressorgen p53 tot expressie. Het p53-eiwit dat daardoor wordt gemaakt, regelt de transcriptie en translatie van het p21-gen. Dit gen is verantwoordelijk voor de aanmaak van het p21-eiwit dat een binding aangaat met een eiwit dat normaal gesproken aanzet tot mitose. Dit eiwit wordt daardoor inactief. Hierdoor stopt de celdeling (G1-fase van de celcyclus) zodat het DNA eerst kan worden hersteld. Wanneer de schade te groot is, zet het p53-eiwit de cel aan tot celdood.
- a Het p53-gen bevat de code voor een eiwit dat het p21-gen tot expressie brengt.
Hoe noem je een gen waarvan het eiwit een ander gen aanzet tot expressie?
 - b Normaal gesproken veroorzaakt een mutatie in een proto-oncogen geen kanker.
Leg dit uit en geef aan welke rol het p53-eiwit hierbij heeft.
 - c Het blijkt dat bij 80% van alle vormen van kanker een mutatie in het p53-gen voorkomt. Het p53-eiwit wordt daarom het meest in verband gebracht met tumorvorming.
Hoe kan een mutatie in het p53-gen leiden tot tumorvorming?
 - d Door mutatie wordt een p53-eiwit gesynthetiseerd dat zich verkeerd vouwt en daardoor zijn werk niet kan doen. Wetenschappers hebben een stof gevonden die ervoor zorgt dat het eiwit weer de juiste vorm aanneemt. Ze hopen hiermee een nieuwe therapie tegen kanker te kunnen ontwikkelen. Waarop is deze therapie gebaseerd?
 - e Baarmoederhalskanker is een van de weinige vormen van kanker die bijna altijd wordt veroorzaakt door een virus. Dit virus heet het humaan papillomavirus (HPV). Dit virus beïnvloedt vooral de tumorsuppressorgen p53 en pRb. Beide genen kunnen de celdeling onderdrukken. Vrouwen die roken, hebben een grotere kans om baarmoederhalskanker te ontwikkelen dan vrouwen die niet roken. Leg dat uit.

CONTEXT

Leefwereld

▼ Afb. 41 Bjorn.



Progeria

Het leven is een feest, maar je moet zelf de slingers ophangen is een boek van Bjorn Nabuurs en Sjaak van Moorsel. Het boek gaat over Bjorn. Bjorn (2002) is een optimistische jongen die alles wil meemaken in het leven en het uiterste wil bereiken. Bjorn heeft de zeldzame verouderingsziekte progeria. Doordat hij weet dat zijn leven waarschijnlijk korter is dan het leven van zijn leeftijdgenoten, wil hij er alles uit halen.

De klassieke vorm van progeria wordt veroorzaakt door een puntmutatie in het LMNA-gen in een van de homologe chromosomen van paar 1. Normaal codeert het LMNA-gen voor het eiwit prelamine A dat zorgt voor een netwerk van draden die stevigheid geven aan het celkernmembraan en nodig zijn bij de celdeling. Het kortere, afwijkende eiwit dat bij progeria ontstaat, heet progerin. Door dit eiwit is het kernmembraan minder stevig en heeft het niet zijn normale vorm. Elk kalenderjaar wordt Bjorn ongeveer acht tot tien levensjaren ouder. Hij heeft verouderingssymptomen die normaal gesproken alleen voorkomen bij ouderen. Kinderen met progeria worden gemiddeld 13 jaar oud. Doordat ze bijvoorbeeld slechte bloedvaten hebben, kunnen ze al vroeg een hartinfarct of een beroerte krijgen. Ze hebben een normale intelligentie en er treedt geen dementie op.

opdracht

- 31 Alle cellen van een kind met klassieke progeria bevatten het gemuteerde allel.
 - a Op welk moment zal de mutatie die bij een kind klassieke progeria veroorzaakt, waarschijnlijk zijn ontstaan?
 - b Klassieke progeria wordt veroorzaakt door een puntmutatie. Is deze mutatie dominant of recessief? Leg je antwoord uit.
 - c Het afwijkende eiwit dat bij klassieke progeria ontstaat, is korter. Leg uit waarom het afwijkende eiwit door de puntmutatie korter is.
 - d Waardoor wordt klassieke progeria niet doorgegeven aan nakomelingen?
 - e Bjorn heeft een niet-klassieke vorm van progeria. Hij heeft een autosomaal recessief erfelijke vorm. Bij Bjorn functioneert prelamine A slecht. Het proces van veroudering gaat minder snel dan bij klassieke progeria. Leg uit op welke manier de niet-klassieke vorm van progeria bij Bjorn is veroorzaakt.

Leerdoel

- Je kunt verschillende technieken en toepassingen van biotechnologie beschrijven.

6 Biotechnologie

Wetenschappers kunnen de eigenschappen van organismen aanpassen door het DNA rechtstreeks te veranderen. Door bijvoorbeeld een bepaald deel van het DNA bij muizen te vervangen door slangen-DNA, ontwikkelen muizen geen poten meer.

MENSEN GEBRUIKEN ORGANISMEN

Biotechnologie is een verzamelnaam voor technieken waarbij organismen worden gebruikt om producten te maken voor de mens. Sommige technieken worden al eeuwenlang gebruikt. Zo wordt voor de productie van wijn, bier en brood gist gebruikt. Bij de productie van kaas worden enzymen (chymosine) uit de lebmaag van pasgeboren kalveren gebruikt. Melkzuurbacteriën spelen een rol bij de productie van zuurkool en yoghurt.

In de landbouw vindt al eeuwen kunstmatige selectie plaats en worden veredelde planten geteeld en dieren gefokt die voldoen aan de behoeften van de mens.

GENETISCHE MODIFICATIE

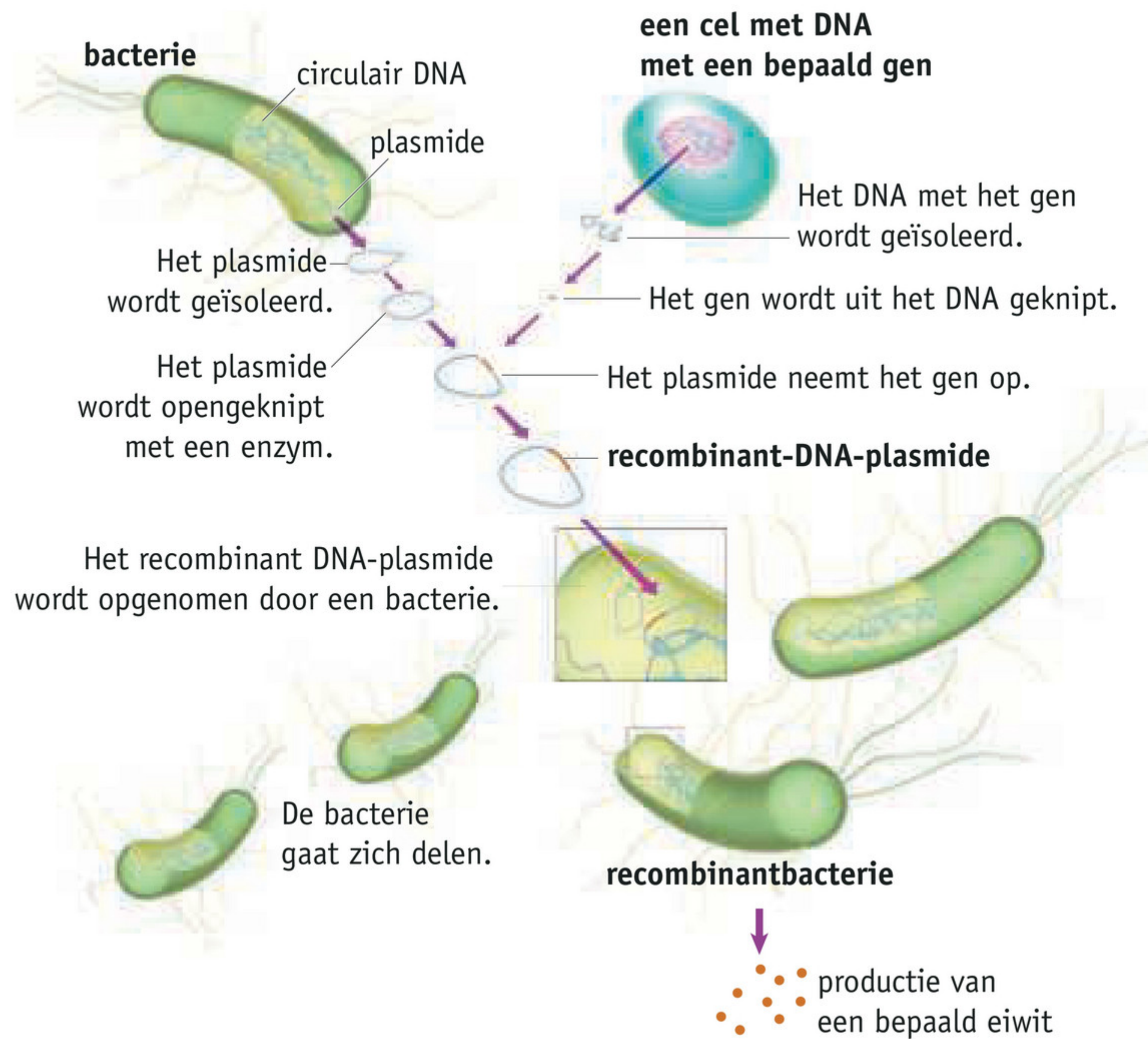
Onderzoekers weten door de toegenomen kennis over DNA van steeds meer genen hoe ze functioneren en voor welke eigenschappen ze verantwoordelijk zijn. Met deze kennis kunnen de eigenschappen van bacteriën, schimmels, planten en dieren worden gewijzigd. Dit heet **genetische modificatie**. Een gen van een bepaald organisme kan worden overgebracht naar het DNA van een ander organisme. Organismen waarbij het DNA is veranderd, noem je **transgeen** of **ggo** (genetisch gemodificeerd organisme). Zo kunnen transgene bacteriën worden gebruikt bij het opruimen van radioactief afval. Ingebouwde genen zorgen ervoor dat kwik uit radioactieve verbindingen wordt omgezet in een niet-giftige kwikverbinding.

RECOMBINANT-DNA-TECHNIEK

Een voorbeeld van genetische modificatie is de **recombinant-DNA-techniek**. Bij deze techniek wordt de nucleotidevolgorde van het DNA in een organisme gewijzigd door DNA in te brengen dat afkomstig is van een ander individu. De betrokken organismen hoeven hiervoor niet tot dezelfde soort te behoren. De recombinant-DNA-techniek werd mogelijk door de ontdekking van speciale enzymen die een DNA-fragment uit DNA kunnen knippen. Onder invloed van een ander enzym binden verschillende DNA-fragmenten aan elkaar. Zo kan bijvoorbeeld recombinant-DNA ontstaan van een stukje DNA van een mens en DNA van een bacterie.

Er bestaan verschillende technieken om recombinant-DNA in te brengen in het DNA van organismen. Vaak wordt gebruikgemaakt van plasmiden. Geïsoleerde plasmiden uit bacteriën worden opengeknip met een enzym. DNA-fragmenten (genen) die van andere organismen afkomstig zijn, kunnen door deze plasmiden worden opgenomen. Vervolgens kunnen de gemodificeerde plasmiden door bacteriën worden opgenomen (zie afbeelding 42). Niet alle plasmiden zullen het DNA-fragment opnemen. Ook neemt maar een deel van de bacteriën een gemodificeerd plasmide op. Wanneer deze bacteriën gaan delen, ontstaan nakomelingen met het recombinant-DNA-plasmide. Deze bacteriën kunnen een bepaald eiwit produceren dat kan worden gebruikt voor specifieke doeleinden.

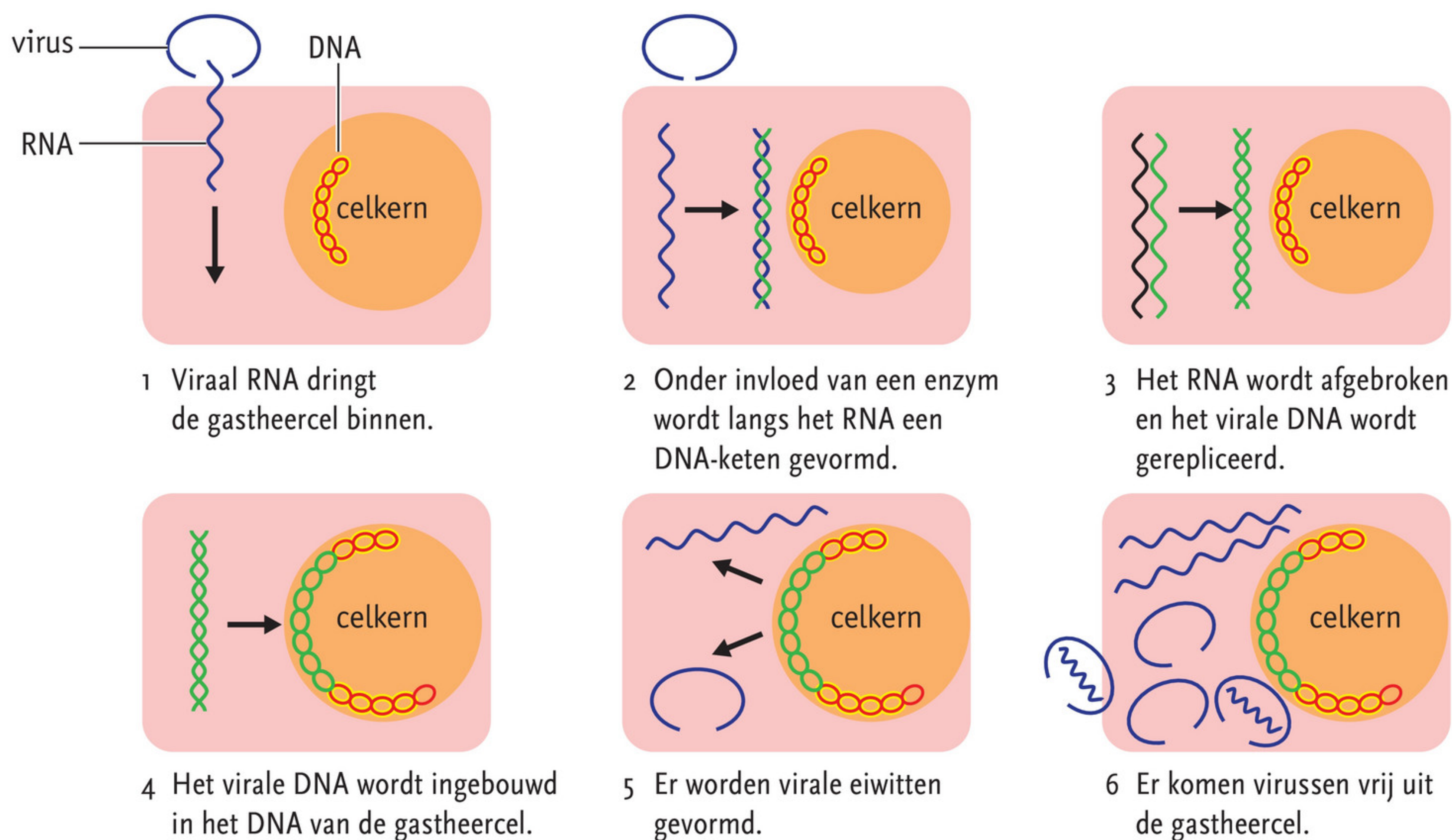
► **Afb. 42** Recombinant-DNA-techniek.



GENETISCHE MODIFICATIE MET VIRUSSEN

Virussen gebruiken specifieke gastheercellen voor hun voortplanting. Wanneer een virus de cellen van een ander organisme (de gastheer) binnendringt, komt hun DNA of RNA in het cytoplasma. Je spreekt dan van een virusinfectie. Het DNA wordt naar de celkern getransporteerd en ingebouwd in het DNA van de gastheercel. RNA kan niet worden ingebouwd in het DNA van de gastheercel. Een RNA-virus bevat daarom een enzym dat een DNA-keten vormt langs het binnengedrongen RNA-molecuul. De RNA-keten wordt hierna afgebroken en vervolgens wordt met behulp van DNA-polymerase een complete dubbelstrengs DNA-keten gevormd. Dit fragment kan worden ingebouwd in het DNA van de gastheercel (zie afbeelding 43).

▼ **Afb. 43** Het verloop van een infectie door een virus.



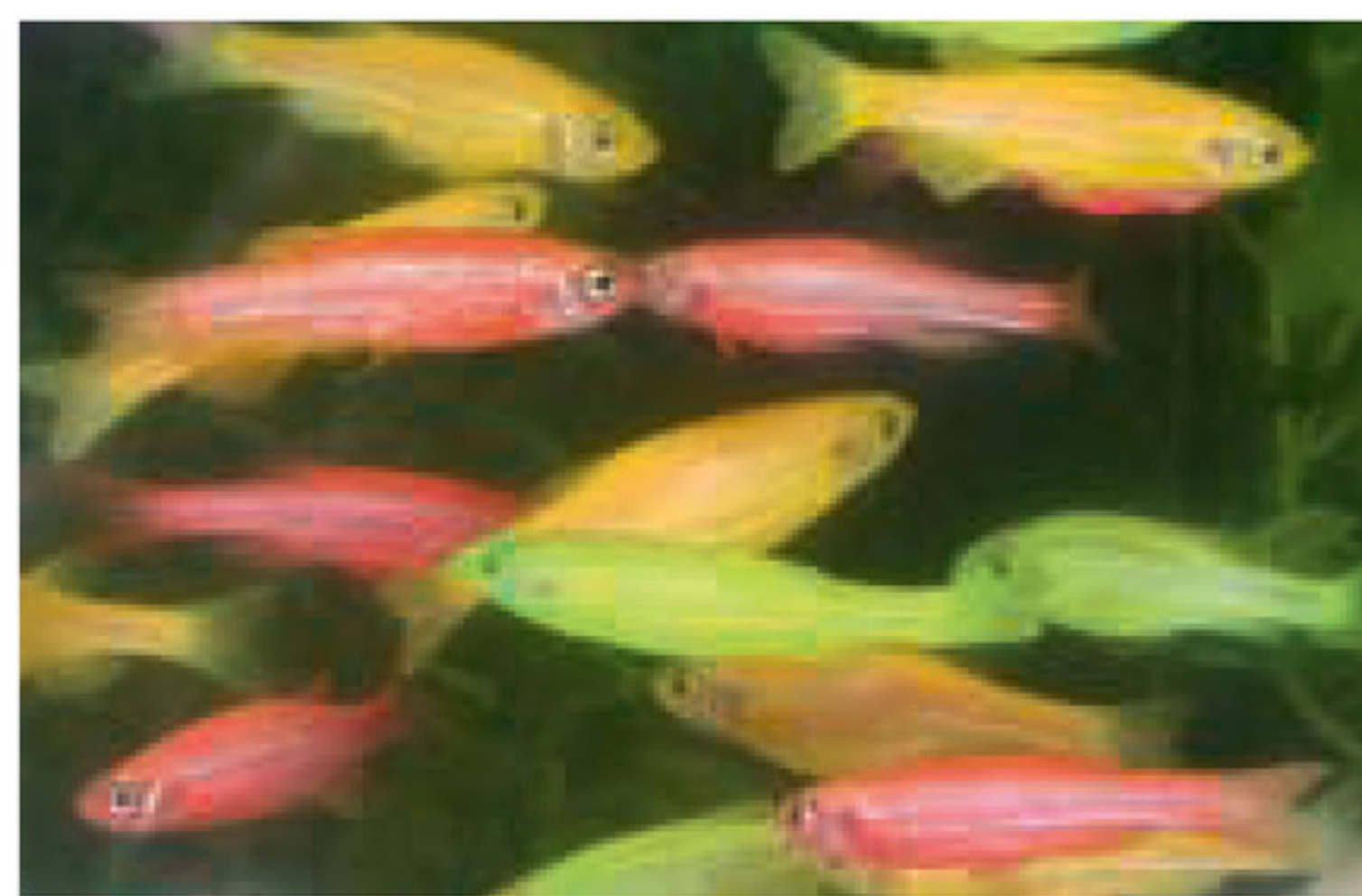
Voor het vormen van nieuwe virussen wordt het RNA-molecuul gebruikt dat langs het ingebouwde DNA-fragment ontstaat. De ribosomen vormen virale eiwitten met de informatie in dit RNA. Wanneer de gastheercel vol zit met virussen, barst deze open waardoor de virussen vrijkomen.

Ook virussen kunnen worden gebruikt om genen in te bouwen in een ander organisme. Met behulp van het enzym uit virussen, dat een DNA-keten kan vormen langs RNA, is het mogelijk een gen te isoleren uit het genoom van een eukaryoot organisme. In plaats van een bepaald gen met een gunstige eigenschap uit het DNA van een organisme te isoleren, kun je met dit enzym ook een kopie maken van het RNA. Eerst wordt het RNA geïsoleerd uit cellen die veel van het gewenste eiwit maken. Met behulp van het virusenzym kan dan langs een RNA-keten een enkelstrengs DNA-keten worden gevormd. Hiervan wordt daarna een dubbele DNA-keten gemaakt met behulp van het enzym DNA-polymerase. Het DNA dat is ontstaan, heet **copyDNA (cDNA)** en bevat alleen het gewenste gen. cDNA kan in een plasmide van een bacterie of in een virus worden ingebracht.

opdrachten

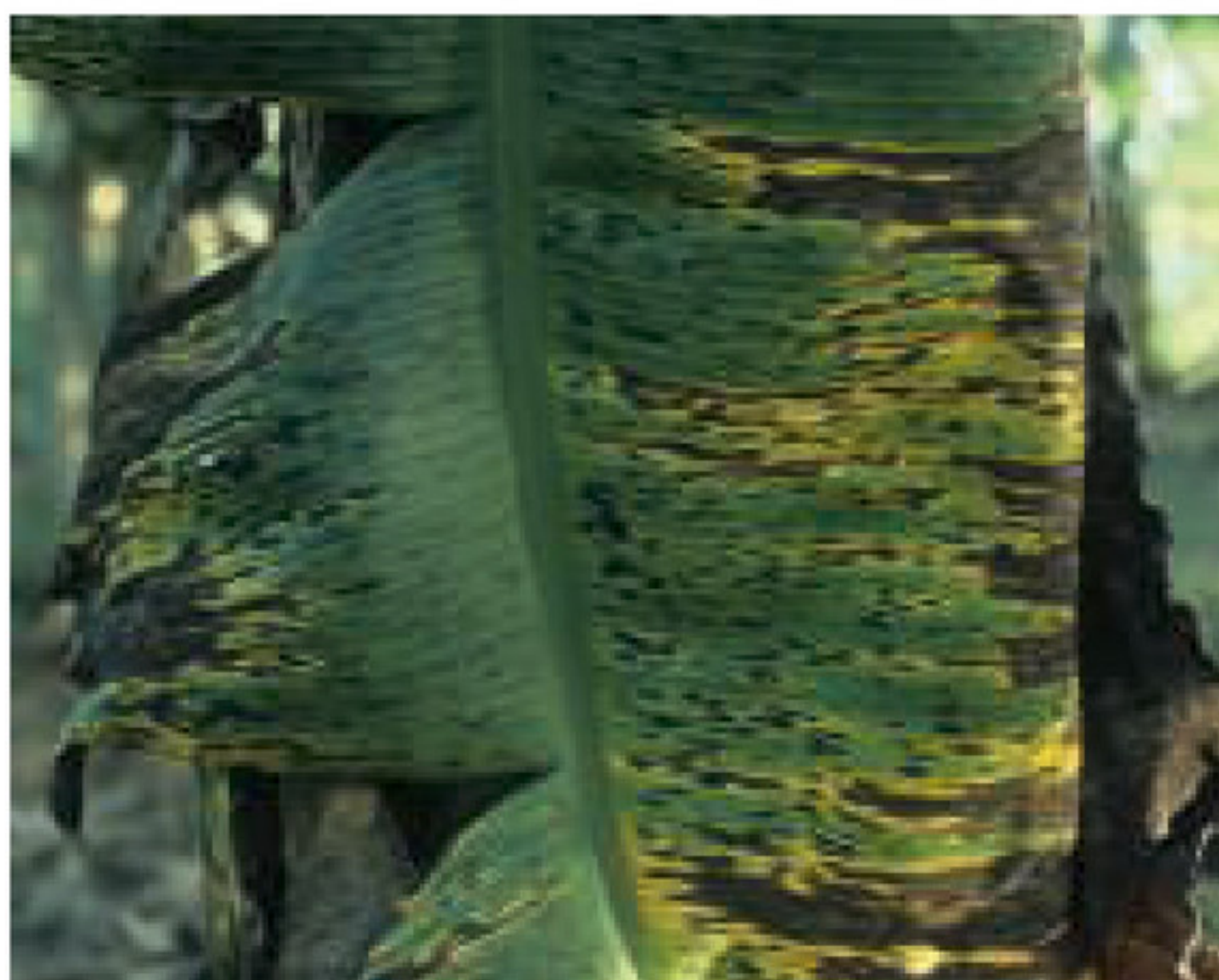
- 32** In de geneeskunde, de industrie, de landbouw en de voedingsmiddelenindustrie wordt genetische modificatie veelvuldig toegepast, maar het wordt ook gebruikt voor wetenschappelijk onderzoek.
- a** Zoek op internet vijf voorbeelden van genetische modificatie waardoor transgene micro-organismen stoffen kunnen produceren voor mensen.
 - b** Geef van de voorbeelden die je hebt gevonden aan of je het resultaat van de genetische modificatie zinvol vindt of niet. Leg uit waarom.
- 33** Gloeivissen (zie afbeelding 44) zijn genetisch gemodificeerde zebravissen die in hun DNA een gen hebben dat afkomstig is van kwallen. Hierdoor maken zij een fluorescerend eiwit dat er bij wit of ultraviolet licht voor zorgt dat de vis oplicht in een bepaalde kleur.
- Welke eigenschap van DNA zorgt ervoor dat het DNA tussen kwallen en zebravissen kan worden uitgewisseld?

► **Afb. 44** Gloeivissen.



- 34** Genetische modificatie kan ervoor zorgen dat landbouwgewassen beter kunnen groeien in een droog milieu.
- a** Leg uit hoe dit mogelijk is.
 - b** Door genetische modificatie kunnen landbouwgewassen resistent worden voor bepaalde ziekten.
Wat is het voordeel hiervan?
 - c** De effecten van genetische modificatie bij landbouwgewassen zijn nog niet duidelijk en daarom wordt er veel onderzoek naar gedaan. Milieuorganisaties vinden dat genetisch gemodificeerde gewassen niet in de natuur terecht mogen komen.
Vanwege welk risico vinden milieuorganisaties dat ggo's niet in de natuur terecht mogen komen?

- ▼ **Afb. 45** Bananenblad dat is aangetast door de zwarte sigatokaschimmel.



- d Wereldwijd wordt vooral het bananenras Cavendish verbouwd. Dit ras is niet resistent voor de zwarte sigatokaschimmel. Op dit moment is gif spuiten de enige manier om de zwarte sigatokaziekte onder controle te houden (zie afbeelding 45). Dat moet zo'n vijftig tot zeventig keer per jaar gebeuren. Dat is ongeveer één keer per week. Waarom is genetische modificatie om deze bananen resistent te maken, een goed alternatief?

- 35 Virussen kunnen ziekten veroorzaken door hun DNA of RNA in cellen van een gastheer in te brengen. Het DNA van een virus kan direct worden ingebouwd in het DNA van een gastheer cel. Beschrijf hoe een infectie met RNA kan leiden tot ziekten. Gebruik hierbij de begrippen: *DNA-polymerase – dubbelstrengs DNA – ribosomen – virusdelen*.

CONTEXT

Wetenschap

Een designerbaby met CRISPR

Tot voor kort was het bewerken van DNA een moeilijk en duur proces met weinig nauwkeurigheid. Dat is veranderd met de ontwikkeling van een nieuwe techniek van genetische modificatie: CRISPR. CRISPR is een afweersysteem in prokaryoten dat DNA van bacteriofagen tot in detail herkent en vervolgens kapotknijpt. Een eiwit dat in DNA kan knippen, gebruikt RNA als gids en gaat op zoek naar het DNA van het virus. Wetenschappers ontdekten dat CRISPR ook werkt in cellen van dieren en planten. Door het gids-RNA aan te passen, kun je elke willekeurige volgorde van het DNA opsporen waarna het eiwit er vervolgens in kan knippen. Daarna kun je ermee doen wat je wilt: het DNA door de cel laten repareren, extra DNA toevoegen, een stukje DNA veranderen of er juist een deel uitknippen.

CRISPR zou de mensheid voor altijd kunnen veranderen. Wetenschappers willen eerst dat de wereldburgers bepalen wat de grenzen zijn.

- ▼ **Afb. 46** Een designerbaby?



opdracht

- 36** Met CRISPR kun je snel, goedkoop en nauwkeurig een gen uitschakelen.
- a** Wat zou voor een wetenschapper het doel kunnen zijn van het uitschakelen van een gen?
 - b** Hemofilie (bloederziekte) is een erfelijke ziekte waarbij bloedingen in spieren en gewrichten optreden door een tekort aan stollingsfactoren. Met CRISPR kan deze ziekte bij een patiënt in de toekomst worden genezen. Leg uit dat de verandering in de genen door CRISPR niet wordt doorgegeven aan de nakomelingen van de patiënt.
 - c** Er zijn mensen die het onethisch vinden als genetische modificatie niet wordt toegepast in situaties waarin dit voordelen kan opleveren voor mensen. Bijvoorbeeld omdat genetische modificatie kinderen een leven kan bieden met meer kansen, zieke mensen kan genezen en pijn kan voorkomen.
Neem alle aanpassingen die worden genoemd in afbeelding 46 over en noteer of je de aanpassing ethisch verantwoord vindt of niet. Leg uit waarom je dit vindt.

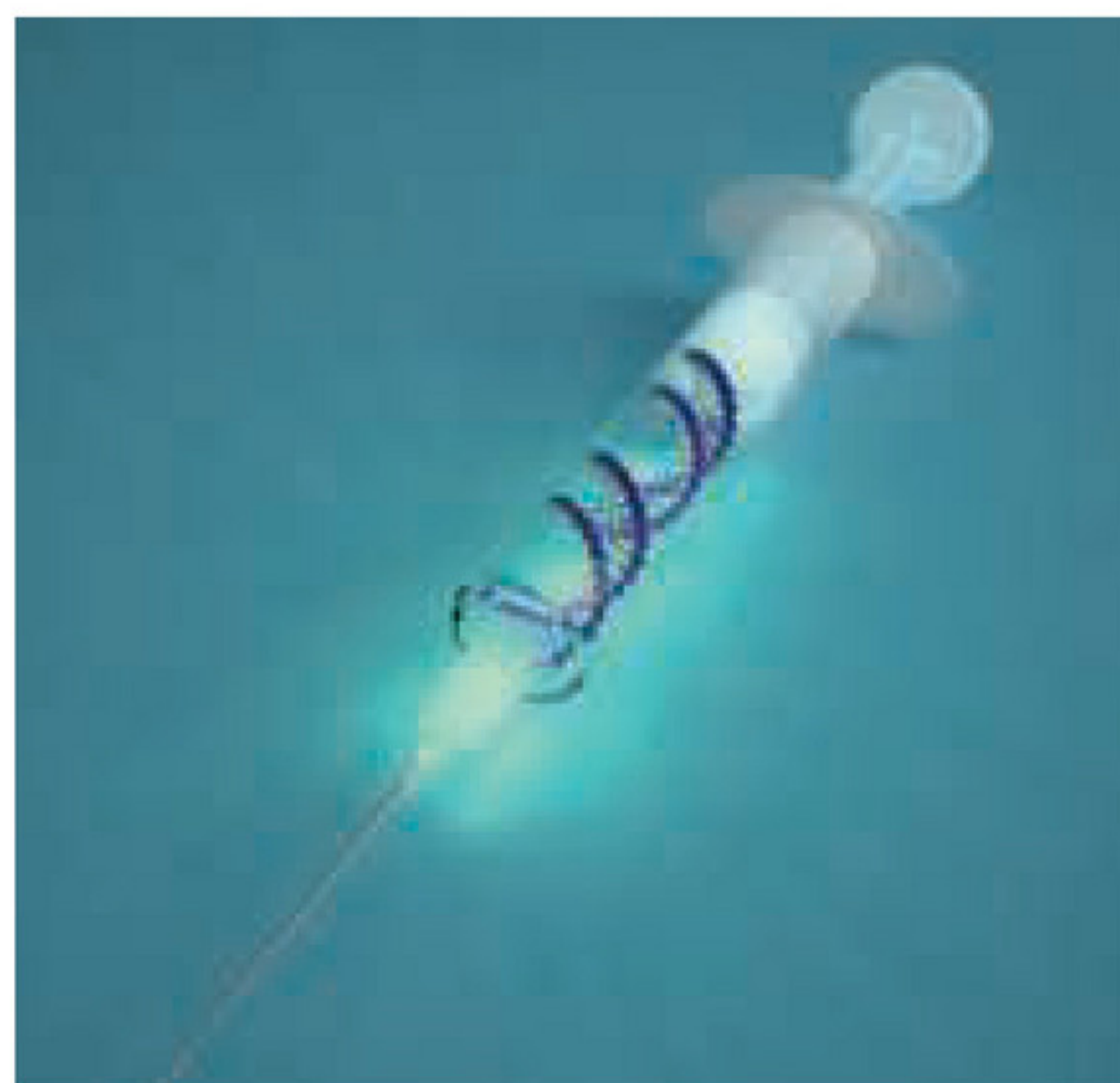
Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Doe online de verrijksstoffen, flitskaarten en Test Jezelf.
- Ga in het boek verder met de Samenhang en de Examentrainer.

Leerdoelen

- Je kunt het effect van gendoping toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheid vorm-functiedenken toepassen op de genetische modificatie van eukaryoten.

▼ Afb. 1 Injectienaald met DNA.



Gendoping

Zonder training je spiermassa met 15% laten toenemen door toediening van slechts één gen: de Amerikaanse onderzoeker Sweeney kreeg dat in 1998 voor elkaar. Bij muizen.

Bij muizen met een erfelijke ziekte die tot afbraak van hun spieren leidt, werd het ziekteveroorzakende gen vervangen door een gezond gen. Zo werd de spieraafbraak voorkomen en nam hun spiermassa toe. De ontdekking van Sweeney kreeg grote belangstelling van sommige bodybuilders en andere atleten die voor meer spiermassa en betere prestaties graag aan hun DNA willen laten sleutelen met genetische doping.

Bij gendoping krijgen sporters, afhankelijk van de sport die zij beoefenen, kopieën van een gen toegediend dat effect heeft op de zuurstofopname, het uithoudingsvermogen of de spierontwikkeling. Het gen hebben ze al in hun DNA, maar door extra kopieën in de cellen van bepaalde organen te spuiten, gaan deze tijdelijk meer van het eiwit maken waarvoor het gen codeert. Het gen kan puur of verpakt in een virus of vetachtige stof in de cellen worden gebracht. Hierdoor maakt het lichaam als het ware zijn eigen doping, bijvoorbeeld een eiwit dat de spiervorming bevordert of het hormoon erythropoëetine (epo) dat de aanmaak van rode bloedcellen bevordert. Het is eenvoudig, goedkoop, effectief en moeilijk op te sporen voor antidopingexperts. Hoewel er nog nooit een sporter op is betrapt, is gendoping illegaal.

Medische wetenschappers ontwikkelde gendoping eigenlijk als een methode om ziekten te genezen (gentherapie) die ontstaan door een mutatie in het DNA. Zij proberen de gemuteerde genen met experimentele technieken te vervangen door gezonde genen.

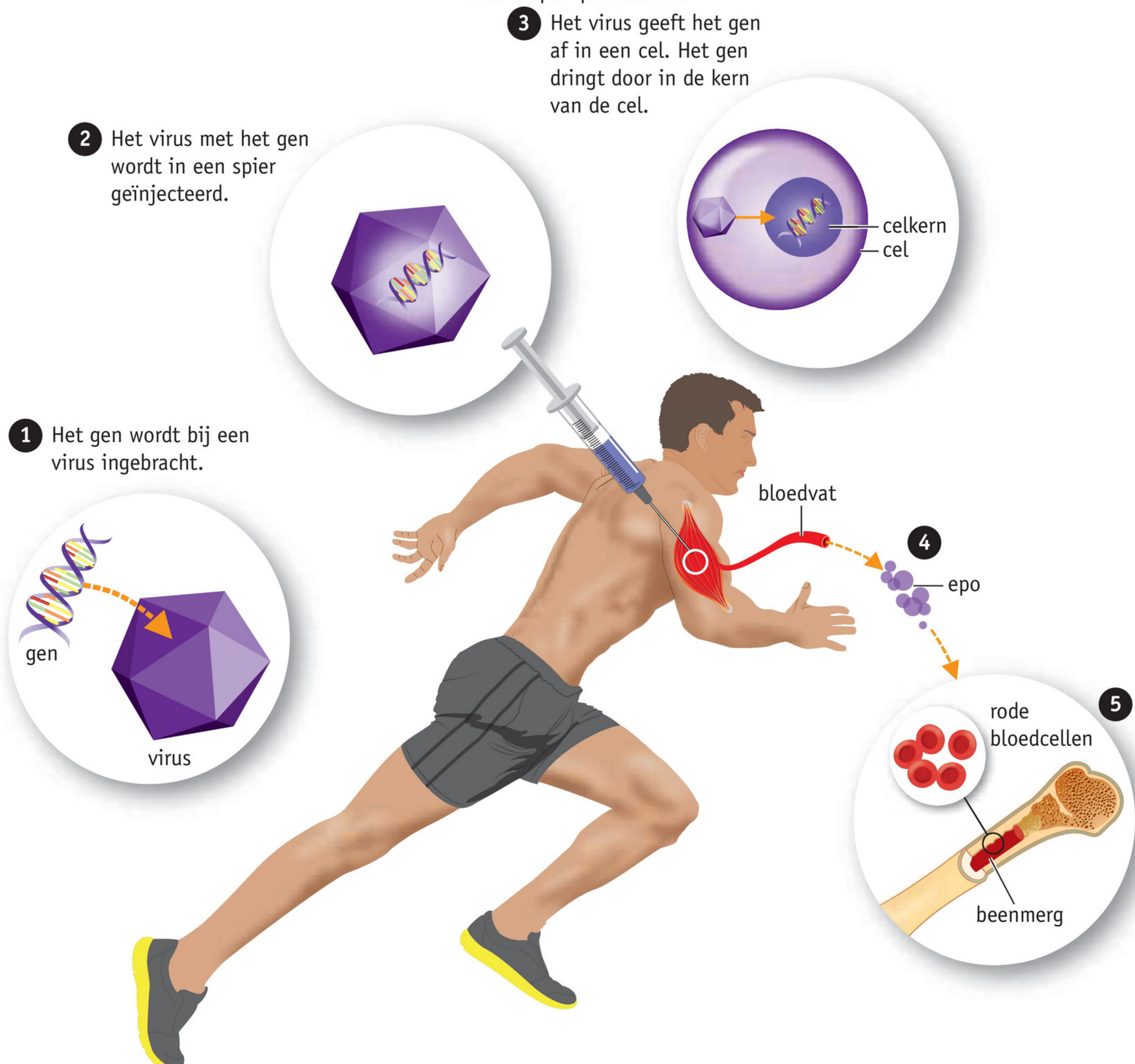
opdrachten

- 1 Vul de woorden in bij het juiste organisatieniveau. Kies uit: *DNA – eiwit – epo – muizen – rode bloedcel – spieren – sporter*.
- 2 Het is moeilijk om sporters op gendoping te betrappen.
 - a Leg uit waarom dit moeilijk is.
 - b Een sporter bestelt een product via internet en injecteert het met een injectienaald in de bovenarm (zie afbeelding 2). Welk gen bevatten de virussen in de injectienaald? Leg je antwoord uit.

Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	-
Ecosysteem	-
Populatie	
Organisme	
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

- c Welke organen in je lichaam produceren zelf epo? Gebruik bij deze opdracht je **Binas** (tabel 89A).
- d Leg uit waarom de spiercellen in de bovenarm van de sporter normaal gesproken geen epo produceren maar na gendoping wel.
- e Het gen dat door virussen in een cel is binnengebracht, kan worden ingebouwd in het kernDNA van de gastheercel.
Wat is het voordeel hiervan?
- f Bij gendoping kan ook alleen het pure gen worden geïnjecteerd. Het gen wordt dan niet ingebouwd in het kernDNA en zal na enige weken zijn afgebroken.
Waarom kiezen sporters hier meestal voor?
- g Een sporter onderzoekt hoe hij zijn prestaties kan verbeteren. Op internet leest hij dat het eiwit myostatine de spierontwikkeling afremt. Hij wil het gen dat codeert voor myostatine, door gendoping uitzetten.
Leg uit op welke manier dit zorgt voor meer spierontwikkeling en daardoor betere sportprestaties.

▼ **Afb. 2** Gendoping.



practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een tomaat
- NaCl (keukenzout)
- afwasmiddel
- water
- ijskoud ethanol
- een theelepel
- 2 bekerglazen van 200 mL
- een groot, scherp mes
- een snijplank
- een blender of staafmixer
- een maatbeker
- een pipet van 2 mL
- een reageerbuis
- keukenpapier
- een trechter
- een lang satéstokje
- camera, mobiele telefoon of tablet

Practica

DNA isoleren uit een tomaat

►► BASISSTOF 2

Om de sequentie van DNA te kunnen bepalen, isoleer je eerst DNA uit cellen. In deze practicumopdracht onderzoek je hoe je DNA kunt isoleren uit de cellen van een tomaat.

METHODE

- Snijd ongeveer een derde van de tomaat in kleine blokjes en doe die in de maatbeker.
- Maak in een bekerglas een oplossing van:
 - 5 mL afwasmiddel;
 - 1 theelepel zout;
 - 45 mL water.
- Giet deze oplossing bij de tomaatblokjes.
- Mix de inhoud 10 tot 15 seconden.
- Vouw een filter van keukenpapier en plaats deze in de trechter. Filtreer de tomaatoplossing. Hierdoor verwijder je celfragmenten. Vang het filtraat op in het tweede bekerglas. Het filtraat bevat het DNA.
- Pipetteer 0,5 mL filtraat in een reageerbuis.
- Houd de reageerbuis schuin en schenk heel langzaam 1 mL ijskoud ethanol langs de kant.
- Draai de reageerbuis voorzichtig rond. Niet schudden! DNA lost moeilijk op in alcohol en zal daardoor samenklonteren. Het DNA is nu zichtbaar.
- Doop een lang satéstokje in de reageerbuis, met de punt tussen de alcohol laag en het tomaatfiltraat in. Haal het satéstokje weer omhoog. Het rode propje dat je nu omhoogtrekt, is DNA. De rode kleur wordt veroorzaakt door het tomatenpigment dat aan het DNA kleeft.
- Maak een foto van het DNA-propje.

Beantwoord de volgende vragen.

- 1 Hoe maak je de celwanden van tomatencellen kapot?
- 2 Zout is onder andere nodig om de vrijgekomen eiwitten te laten samenklonteren. Waarvoor voeg je afwasmiddel toe?

RESULTAAT

Een foto van het DNA-propje.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de bouw en functies van DNA beschrijven.

- DNA (desoxyribonucleïnezuur) bevat de informatie voor de erfelijke eigenschappen van een levende cel.
- Genoom: het geheel aan erfelijke informatie in een cel van een organisme.
 - Bij eukaryoten: al het kernDNA en het DNA in celorganellen: DNA in mitochondriën (mtDNA) en DNA in bladgroenkorrels.
 - Bij prokaryoten: al het DNA dat los in het cytoplasma van de cel voorkomt: een circulaire DNA-streng en plasmide(n): kort stukje cirkelvormig DNA.
- DNA is een nucleïnezuur en is opgebouwd uit nucleotiden.
 - Een nucleotide bestaat uit desoxyribose, een fosfaatgroep en een stikstofbase.
 - In DNA komen vier stikstofbasen voor: adenine (A), cytosine (C), guanine (G) en thymine (T).
- Een DNA-molecuul bestaat uit twee nucleotideketens, die in een dubbele spiraal (helix) om elkaar heen gewonden liggen.
 - In een nucleotideketen wisselen monosachariden en fosfaatgroepen elkaar af. De stikstofbasen steken er aan de zijkant uit.
 - De stikstofbasen vormen vaste paren: adenine (A) is altijd verbonden met thymine (T); cytosine (C) is altijd verbonden met guanine (G).
- Bij eukaryoten bestaat een chromosoom uit één lang dubbelstrengs DNA-molecuul dat rond eiwitten is gewikkeld.
- Sequentie: de volgorde waarin nucleotiden in een DNA-molecuul zijn gerangschikt.
- Coderend DNA: een deel van een DNA-molecuul (een gen) dat de code (DNA-sequentie) bevat waarmee ribosomen een of meer eiwitten kunnen synthetiseren.
- Niet-coderend DNA: grote delen van het DNA coderen niet voor eiwitten. Een deel daarvan:
 - codeert voor andere moleculen die een regulerende functie hebben bij de synthese van eiwitten;
 - bestaat uit repetitief DNA: herhalingen van korte nucleotidesequenties;
 - bestaat uit genen die hun functie hebben verloren.

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 2

Je kunt beschrijven hoe DNA-replicatie plaatsvindt.

- DNA-replicatie vindt plaats in de S-fase van de celcyclus.
 - DNA-replicatie begint met het verbreken van de verbindingen tussen de basenparen.

- DNA-polymerase verbindt vrije nucleotiden aan de vrijgekomen stikstofbasen van een enkelvoudige nucleotideketen.
- Aan elke originele nucleotideketen ontstaat een nieuwe nucleotideketen.
- Na DNA-replicatie bestaat een chromosoom uit twee chromatiden die vastzitten met een centromeer.
- Telomeren: niet-coderend, repetitief DNA aan de uiteinden van een DNA-molecuul dat is ingekapseld in beschermende eiwitten en moet voorkomen dat de genen in het DNA worden beschadigd; bij elke celdeling wordt een telomeer korter.
 - Bij de mens kan een cel zich na ongeveer vijftig celdelingen niet meer delen en ondergaat dan celdood.
 - De levensduur van de cellen van een organisme hangt af van de lengte van de telomeren en de snelheid waarmee ze korter worden.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 2

Je kunt uitleggen hoe met gegevens die zijn verkregen door DNA-analyse de graad van verwantschap van soorten kan worden vastgesteld.

- Sequensen: het bepalen van de nucleotidevolgorde van DNA.
 - De variatie in de DNA-sequenties bij organismen van één soort kan o.a. informatie geven over afkomst en het risico op bepaalde lichamelijke of geestelijke ziekten.
 - Door DNA-sequenties van verschillende soorten te vergelijken, kan de evolutionaire verwantschap van soorten worden bepaald.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven hoe de eiwitsynthese plaatsvindt.

- Transcriptie: langs een deel van een nucleotideketen van een DNA-molecuul (een gen) wordt een RNA-molecuul gevormd.
 - Dit gebeurt op plaatsen in het DNA-molecuul waar genen aan staan.
- RNA (ribonucleïnezuur) verschilt van DNA:
 - RNA bestaat uit een enkele streng nucleotiden.
 - RNA bevat ribose in plaats van desoxyribose bij DNA.
 - RNA bevat de stikstofbase uracil (U) in plaats van thymine (T) bij DNA.
 - RNA wordt gevormd langs één keten van een DNA-molecuul.
- Bij eukaryoten verlaat het RNA via de kernporiën de kern en komt zo bij de ribosomen in het cytoplasma.
 - RNA brengt de code van een gen over naar de ribosomen in het cytoplasma.

- Translatie: de vertaling van de nucleotidevolgorde in RNA naar de aminozuurvolgorde van een eiwit door ribosomen volgens de genetische code.
 - Een codon bestaat uit drie opeenvolgende nucleotiden.
 - Er zijn 64 verschillende codons, waaronder één startcodon (AUG): 61 codons coderen voor de aminozuren, 3 codons geven het einde aan van de eiwitsynthese (de stopcodons).
- Er kunnen meerdere ribosomen tegelijkertijd een RNA-molecuul aflezen.
- Eiwitten die in ribosomen zijn ontstaan, worden verder bewerkt.
 - De functie van eiwitten wordt bepaald door de aminozuurvolgorde en door de ruimtelijke structuur.
 - Bewerking kan in het cytoplasma, het endoplasmatisch reticulum of het golgisysteem plaatsvinden.
 - Sommige eiwitten worden pas functioneel als ze buiten de cel zijn afgescheiden.
- Erfelijke eigenschappen komen tot uiting in het fenotype door de aanwezigheid van bepaalde eiwitten.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 4

Je kunt verschillende manieren van genregulatie beschrijven bij prokaryoten

- Genregulatie is het aan- of uitzetten van een gen.
- Genexpressie: wanneer een gen aan staat, kan door transcriptie RNA ontstaan en door translatie een eiwit.
- Gedeelten van DNA hebben verschillende functies:
 - Regulatorgenen: zorgen bij prokaryoten voor de synthese van repressors. Zij kunnen een gen aan- of uitzetten.
 - Structuurgenen: genen in prokaryoten die de informatie bevatten voor het vormen van een eiwit.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 4

Je kunt verschillende manieren van genregulatie beschrijven bij eukaryoten.

- Stamcellen: deze zijn nog niet (volledig) gespecialiseerd en kunnen zich onbeperkt delen.
 - Embryonale stamcellen differentiëren tot elk celtype.
 - Adulte (volwassen) stamcellen differentiëren tot een beperkt aantal celtypen (bijv. bloedstamcellen).
- Genregulatie tijdens de embryonale ontwikkeling bij eukaryoten:
 - De plaats van een stamcel in een embryo bepaalt welke regulatorgenen aan staan.
 - Regulatorgenen coderen in eukaryoten voor eiwitten die andere genen aan of uit kunnen zetten.

- Door genregulatie ontstaan verschillende gespecialiseerde cellen, weefsels en organen in een meercellig organisme.
- Genregulatie bij volwassen eukaryoten vindt plaats doordat repressors de transcriptie blokkeren door te binden aan het DNA.

LEERDOEL 7 ►► BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven wat het belang is van genexpressie voor zelfregulatie en zelforganisatie van een organisme.

- Epigenetica is de wetenschap die zich bezighoudt met het bestuderen van omkeerbare veranderingen in de activiteit van genen, die niet het gevolg zijn van veranderingen in de nucleotidevolgorde van het DNA.
 - Doordat eiwitten DNA steviger binden of door DNA-methylering wordt de genexpressie geblokkeerd. Het gen staat uit.
 - Epigenetische factoren: invloeden die de werking van genen beïnvloeden.
 - Bij DNA-replicatie kunnen epigenetisch verworven eigenschappen worden doorgegeven aan de dochtercellen en bij voortplanting aan het nageslacht.
- Door genregulatie en genexpressie kunnen cellen verschillende eiwitten produceren op het moment dat de cel ze nodig heeft, afhankelijk van de functie van de cel en van de omstandigheden.

LEERDOEL 8 ►► BASISSTOF 5

Je kunt de verschillende typen en uitwerkingen van mutaties beschrijven.

- Mutatie: een verandering in de nucleotidevolgorde van het DNA van een cel.
- Puntmutatie: het DNA is op één plaats veranderd.
 - In het DNA kunnen een of meer stikstofbasen zijn toegevoegd, verwijderd of vervangen door andere stikstofbasen.
- Genoommutatie: het aantal chromosomen in een cel is veranderd.
 - Doordat bij meiose I de chromosomen van een paar bij elkaar blijven of doordat bij meiose II de chromatiden van een chromosoom bij elkaar blijven.
 - Een van de dochtercellen heeft één chromosoom te veel (bijv. bij het syndroom van Down) en de andere dochtercel één chromosoom te weinig.
- De frequentie waarmee mutaties plaatsvinden, wordt verhoogd door mutagene invloeden: mutagene straling (bijv. radioactieve straling), mutagene stoffen (bijv. stoffen in sigarettenrook) en virussen.
- Het aantal mutaties in een cel blijft beperkt door de enzymen in een celkern die continu beschadigingen in het DNA opsporen en repareren.

- De celcyclus wordt stilgelegd totdat reparerende enzymen hun werk hebben voltooid.
- Het tumorsuppressorgen produceert eiwitten die de celcyclus stilleggen of ervoor zorgen dat een cel met onherstelbare DNA-schade overgaat tot celdood.
- Mutaties kunnen neutraal, positief of negatief zijn voor het organisme.
 - De gevolgen van recessieve mutaties of mutaties in één chromosoom van een paar zijn vaak niet merkbaar.
 - Genen waarin een mutatie plaatsvindt, staan vaak uit.
 - Mutaties kunnen een grote uitwerking hebben als ze optreden tijdens het ontstaan van geslachtscellen, in een bevruchte eicel of in cellen van een embryo.
 - Mutaties vergroten de overlevingskans van een populatie.
- Mutaties in een tumorsuppressorgen en in een proto-oncogen kunnen leiden tot kanker.
 - Proto-oncogenen coderen voor eiwitten die de celgroei en de celdifferentiatie stimuleren.
 - Door een mutatie kan een proto-oncogen veranderen in een oncogen waardoor de cel abnormaal snel groeit en deelt. Wanneer een tumorsuppressorgen er niet voor zorgt dat de cel overgaat tot celdood, kan een gezwel (tumor) ontstaan.
- Metastase (uitzaaiing): cellen van de primaire tumor laten los en komen in het bloed of de lymfe terecht.

LEERDOEL 9 ►► BASISSTOF 6

Je kunt verschillende technieken en toepassingen van biotechnologie beschrijven.

- Biotechnologie: een verzamelnaam voor technieken waarbij organismen worden gebruikt om producten te maken voor de mens.
- Genetische modificatie is het veranderen van het DNA van een organisme.
 - Genetisch gemodificeerde organismen worden transgeen of ggo (genetisch gemodificeerd organisme) genoemd.
- Recombinant-DNA-techniek is het DNA wijzigen door DNA in te brengen dat afkomstig is van een ander organisme.
 - De organismen hoeven niet tot dezelfde soort te behoren.
 - Met speciale enzymen wordt een DNA-fragment met bepaalde informatie uit een DNA-molecuul geknipt. Onder invloed van andere enzymen verbinden verschillende DNA-fragmenten zich met elkaar.
 - Bacteriën kunnen een recombinant-DNA-plasmide opnemen en zo delen en eiwitten produceren voor specifieke doeleinden.

- Een virus bezit één molecuul DNA of RNA. Na infectie van specifieke gastheercellen laten ze hun DNA of RNA achter.
 - DNA wordt naar de celkern getransporteerd en ingebouwd in het DNA van de gastheercel.
 - Een RNA-virus bevat een enzym dat een DNA-keten vormt langs een RNA-streng. De RNA-keten wordt afgebroken en DNA-polymerase vormt dubbelstrengs DNA dat wordt ingebouwd in het DNA van de gastheer in de celkern.
 - Langs het virale DNA ontstaat RNA dat codeert voor eiwitten waarmee nieuwe virussen worden gevormd.
 - Nieuwe virussen komen vrij doordat de gastheercel openbarst.
- CopyDNA (cDNA):
 - Een bepaald enzym vormt enkelstrengs DNA langs RNA-moleculen die zijn geïsoleerd uit cellen die veel van een gewenst eiwit maken. Met DNA-polymerase wordt een dubbele DNA-keten gevormd. Dit cDNA kan worden ingebracht in een plasmide of virus.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken van informatie;
- schriftelijk en mondeling communiceren over natuurwetenschappelijke onderwerpen;
- analyseren welke rol DNA-onderzoek en biotechnologie hebben in natuurwetenschappelijk onderzoek, beroepen en de dagelijkse praktijk;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- geven van een beargumenteerde mening;
- gebruiken van biologische en ethische argumenten;
- verklaren hoe genregulatie en genexpressie op verschillende organisatieniveaus invloed hebben (systeemdenken).

Examentrainer

CSI IN HET MENSELIJK LICHAAM

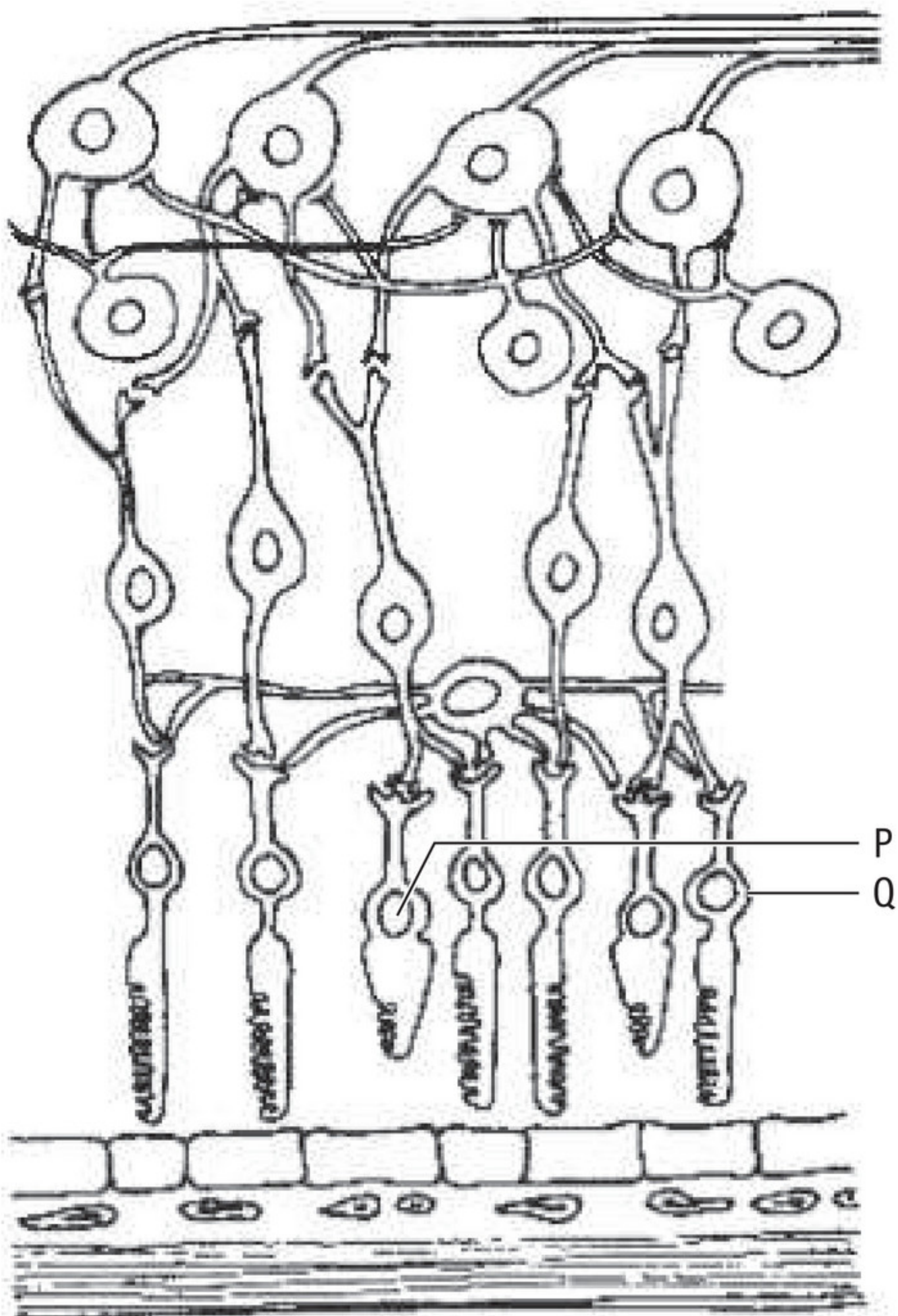
Bron: pilotexamen havo 2014-2, vraag 6, 7, 9 en 10.

Televisieseries zoals CSI en NCIS hebben het beroep van moleculair analist op een positieve manier onder de aandacht gebracht. Door onderzoek van onder andere bloedsporen en gevonden haren wordt in elke aflevering de dader geïdentificeerd. Het werk op laboratoria voor wetenschappelijk onderzoek is eigenlijk net zo spannend. Ook hier wordt vaak jacht gemaakt op aanranders en serial killers. Bij wijze van spreken dan, want het gaat hier niet om personen maar om genen die erfelijke aandoeningen veroorzaken, niet zelden met dodelijke afloop.

Bij deze speurtocht worden de volgende zaken onderzocht:

- *Locatie van de misdaad*
Waar in het lichaam gaat er iets fout?
- *Sporenonderzoek op de plek van de misdaad*
Welke cellen of celonderdelen zijn aangetast?
- *Verdachten opsporen*
Welke genen kunnen de oorzaak zijn?
- *Achtergrond van de dader onderzoeken*
Welke mutatie in het gen leidt tot de aandoening?

▼ **Afb. 1** Dwarsdoorsnede (schematisch) en vooraanzicht (foto) van het netvlies.



Bij het AMC in Amsterdam doet men onderzoek naar een belangrijke veroorzaker van erfelijke nachtblindheid. Mensen met nachtblindheid kunnen zeer slecht zien in het schemerduister en hebben ook overdag verminderd zicht.

Locatie van de misdaad

In afbeelding 1 is een schematische dwarsdoorsnede van het netvlies getekend en daarnaast is een foto van het vooraanzicht van het netvlies weergegeven.

In afbeelding 1.2 zijn met pijltjes de gele vlek en de oogzenuw aangegeven. Het perifeer deel is het deel buiten de gele vlek.

2p 1 Welke cellen zullen als eerste worden onderzocht en in welk deel van het netvlies kunnen die worden aangetroffen?

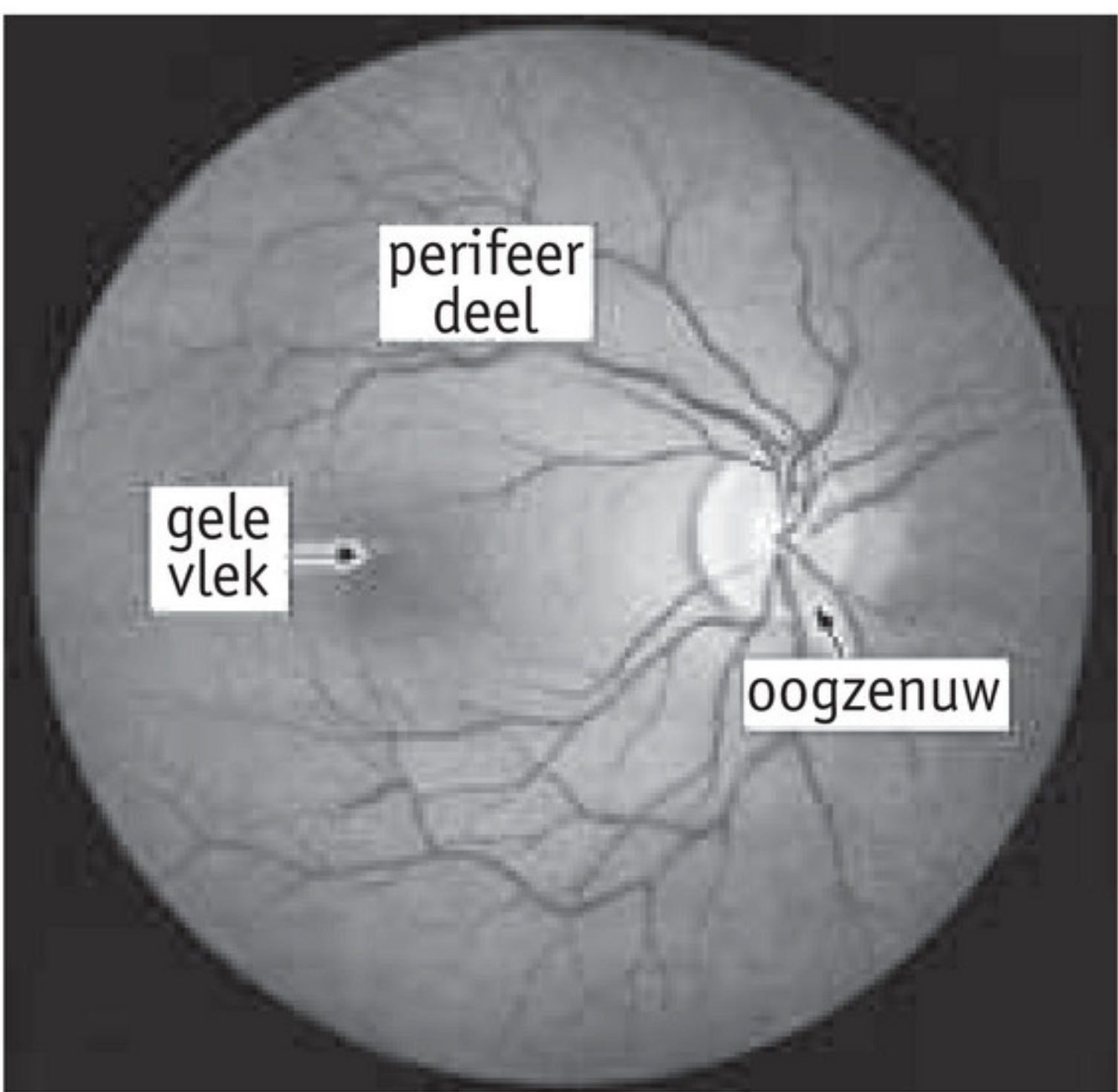
	cellen	deel netvlies
A	P	gele vlek
B	P	oogzenuw
C	P	perifeer deel
D	Q	gele vlek
E	Q	oogzenuw
F	Q	perifeer deel

Sporenonderzoek op de plek van de misdaad

Om erachter te komen welke genen als ‘verdachten’ kunnen worden aangemerkt, worden micro-arraychips gebruikt. Een micro-arraychip bevat kleine stukjes van een groot aantal genen uit het menselijk genoom. Hiermee wordt de activiteit van genen in cellen bepaald.

2p 2 De aanwezigheid van welk nucleïnezuur in de cel geeft informatie over de activiteit van een gen? En welk proces wordt daarmee aangetoond?

	molecuul	activiteit
A	DNA	differentiatie
B	DNA	genexpressie
C	RNA	differentiatie
D	RNA	genexpressie



Verdachten opsporen

Uit de resultaten met de micro-arraychip werd geconcludeerd dat het *TRPM1*-gen als 'de verdachte' van erfelijke nachtblindheid kon worden aangemerkt.

Achtergrond van de dader onderzoeken

Om erachter te komen wat dit gen precies doet, wordt met de microscoop onderzocht waar in het netvlies het eiwit te vinden is waarvoor dit *TRPM1*-gen codeert. Hiervoor worden antistoffen gebruikt die aan het eiwit binden. Om aan de antistoffen te komen, wordt het eiwit bij konijnen ingespoten, waarna de antistoffen uit het bloed van de konijnen kunnen worden geïsoleerd. Aan deze antistoffen wordt een lichtgevend stofje gekoppeld. Na behandeling van de microscopische preparaten met deze antistoffen lichten de gebieden in de cellen op waar het eiwit (= genproduct) zich bevindt. Uit het microscopisch onderzoek blijkt dat het eiwit in de celmembranen van de betrokken cellen aanwezig is. De overige cellen in het preparaat lichten niet op.

- 2p 3 Waarom lichten deze cellen in het preparaat niet op?
- A Omdat daarin geen expressie van het *TRPM1*-gen plaatsvindt.
 - B Omdat daarin het *TRPM1*-gen ontbreekt.
 - C Omdat ze geen eiwitten bevatten.
 - D Omdat ze onbereikbaar zijn voor de antistoffen.

Toen het verdachte gen was geanalyseerd, werd de volgorde van de nucleotiden van het normale *TRPM1*-gen vergeleken met die van het mutantgen van personen met nachtblindheid. Bij een van die personen bleek een puntmutatie in het DNA te leiden tot een verandering in een RNA-codon voor glycine (GGG). Bij een puntmutatie is één stikstofbase door een andere stikstofbase vervangen. Mutatie van een van de drie stikstofbasen in het DNA verandert het genproduct van *TRPM1*.

- 2p 4 Welke van de drie G's in het codon kan dan veranderd zijn?
- A alleen de eerste G
 - B alleen de tweede G
 - C alleen de derde G
 - D alleen de eerste óf de tweede G
 - E alleen de tweede óf de derde G
 - F de eerste óf de tweede óf de derde G

BETERE AARDAPPELS DOOR CISGENESE

Bron: examen havo 2016-1, vraag 29, 30 en 31.

De consument wil met zijn voedsel geen bestrijdingsmiddelen binnenkrijgen en de normen van de overheid voor gebruik van bestrijdingsmiddelen worden steeds strenger. Maar telers kunnen niet zonder gewasbescherming. Daarnaast duurt het kweken van

resistente planten erg lang en heeft genetische modificatie voor- en nadelen. 'We zoeken naar een oplossing voor dit grote dilemma in de landbouw,' zegt een analiste. Het ontwikkelen van een resistente aardappel tegen aardappelziekte via de klassieke veredelingsroute is omslachtig, traag en duur. Het kweken van de *Bionica*, een biologisch aardappelras dat min of meer resistent is tegen *Phytophthora*, heeft zo'n veertig jaar geduurd.

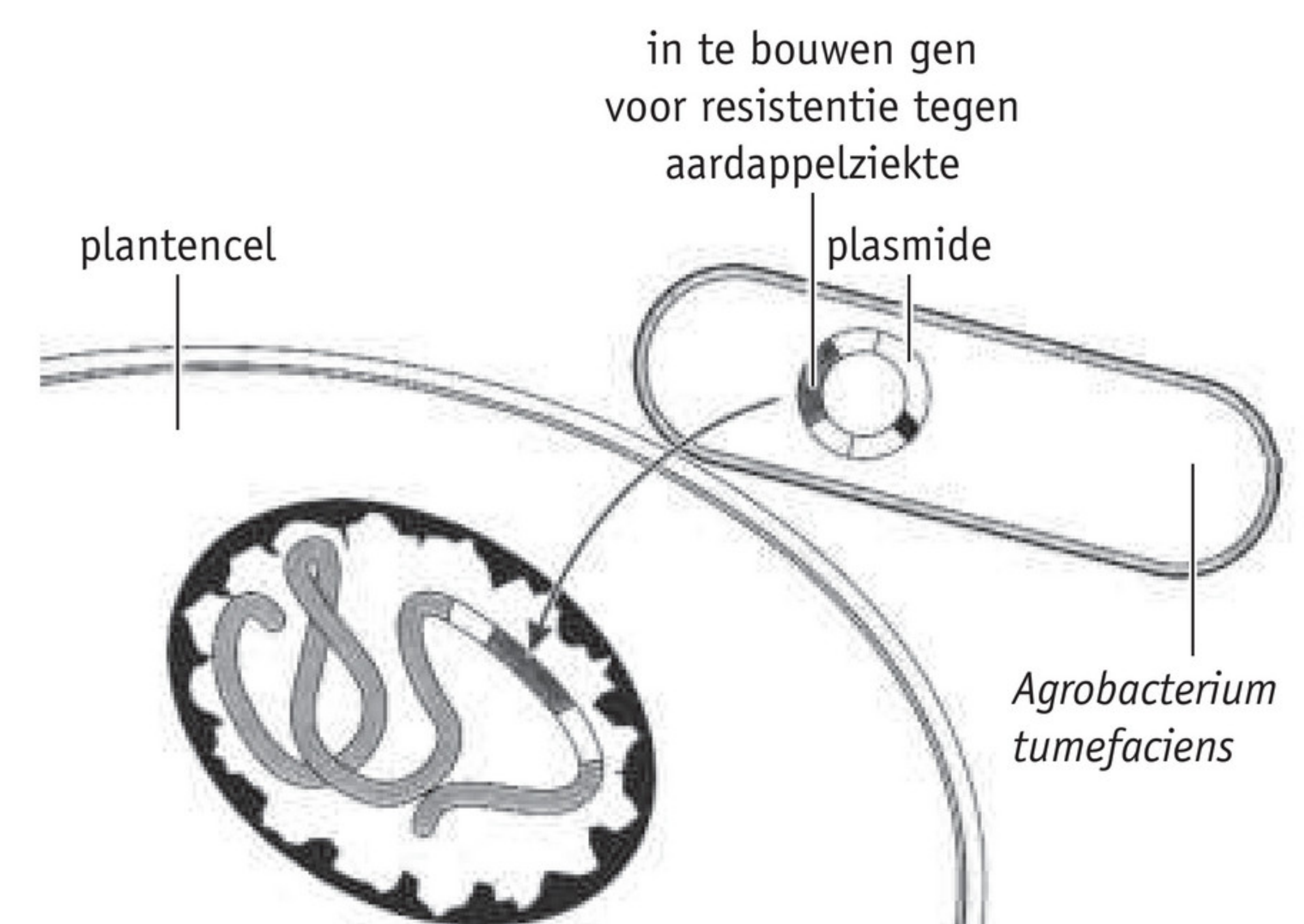
- 2p 5 Leg uit hoe door klassieke veredeling een nieuw ras kan worden ontwikkeld dat een hoge aardappelopbrengst heeft én resistent is tegen aardappelziekte.

Genetische modificatie heeft als voordeel dat op een snelle wijze een resistent ras kan worden verkregen, maar heeft als nadeel dat het maatschappelijk draagvlak ervoor niet groot is. Tegenstanders hebben bezwaren tegen het inbouwen van vreemd DNA in voedingsgewassen.

- 1p 6 Geef een ecologisch argument dat mensen gebruiken om zich tegen genetische modificatie te verzetten.

Een andere mogelijkheid om tot een resistent ras te komen, zou cisgenese kunnen zijn. Dit is een techniek om op gecontroleerde wijze genen te verplaatsen tussen organismen van dezelfde soort die ook met elkaar kunnen worden gekruist.

De werkwijze is als volgt: in de genenbank van Wageningen Universiteit worden in aardappelrassen die in het wild voorkomen, resistentiegenen opgespoord. De genen worden geïsoleerd en ingebouwd in een bacterieplasmide (een cirkelvormig DNA-molecuul). De bacterie brengt dit plasmide in de aardappelcellen, zodat deze het resistentiegen bevatten (zie afbeelding 2).

▼ **Afb. 2** Plasmide in een aardappelcel.

- 2p 7 Door welke eigenschap van DNA kan dit plasmide-DNA worden ingebouwd in het DNA van de aardappelplant? Vul aan: Beide soorten DNA ...

3

Vertering

Heterotrofe organismen nemen voedsel op om in leven te blijven. In het darmkanaal wordt het voedsel verteerd met behulp van enzymen. De verteringsproducten worden opgenomen in het bloed en afgegeven aan de cellen voor de dissimilatie en de voortgezette assimilatie. Onverteerde voedselresten verlaten het lichaam met de ontlasting.

ONTDEKKEN	
Een gouden GREEP?	100
BASISSTOF	
1 Voedingsstoffen	102
2 Het verteringsstelsel	110
3 Chemische vertering	116
4 Resorptie	122
5 Gezonde voeding	126
SAMENHANG	
Eten en gegeten worden	134
VERRIJKINGSSTOFFEN	
Functionele voedingsmiddelen	
Leren en werken	
Ideeën voor onderzoek	
PRACTICA	136
AFSLUITING	
Samenvatting	140
Flitskaarten	
Test Jezelf	
Examentrainer	144







Een gouden GREEP?

►► BASISSTOF 5

In Nederland moet reclame aan een aantal regels voldoen. Deze regels staan in de Nederlandse Reclame Code (NRC). Een van de regels is dat een reclame niet misleidend mag zijn. In een misleidende reclame zegt een adverteerder dingen die niet waar zijn.

Een foto op de voorkant van de verpakking geeft de indruk dat een voedingsmiddel boordevol met gezonde ingrediënten zit. Maar uit de kleine lettertjes op de achterkant blijkt het vooral te bestaan uit suiker en vet. Of een product is volgens de reclame gemaakt naar een 'authentiek' recept, maar bevat een lange lijst kunstmatige toevoegingen. Om nog maar niet te spreken van claims als 'weerstandverhogende' yoghurt en zogenaamd 'natuurlijke' producten die allerlei synthetische E-nummers bevatten.

Volgens de Warenwet is het misleidend als er eigenschappen aan een product worden toegeschreven die het niet bezit. Organisaties als de Consumentenbond en Foodwatch verzetten zich tegen misleidende verpakkingen en reclames voor voedingsmiddelen.

‘Uit de hand gelopen marketing die consumenten op het verkeerde been zet.’

De Consumentenbond noemt de loze voedingsclaims 'uit de hand gelopen marketing die consumenten op het verkeerde been zet'. In de afgelopen jaren zijn op die manier heel wat marketingtrucs onthuld. Voedselabrikanten passen ze op grote schaal toe om producten te verkopen die in werkelijkheid helemaal niet zo gezond zijn als de reclame je wil laten geloven.

opdrachten

Onderzoekers van het voedingsinformatiebureau HAP komen op voor het recht op eerlijk, veilig en gezond voedsel. HAP wil dat voedselabrikanten consumenten eerlijk voorlichten over de inhoud en de herkomst van hun producten. Een van de producten waarin HAP zich verdiept, is de GREEP.

Neem een GREEP!

GREEP (een samentrekking van graan en reep) is een nieuwe snack, gemaakt van de beste granen. Hij zit boordevol vezels, eiwitten en vitaminen. Eén GREEP van 75 gram stilt de stevige trek, als verantwoord tussendoortje of als gezond ontbijt. Handig voor in de rugzak mee naar school, in de lunchtrommel, op de sportschool of tijdens een stevige wandeling. GREEP is samengesteld volgens de laatste inzichten uit de voedings-technologie en bestaat uit 100% natuurlijke ingrediënten. GREEP is dus goed voor het milieu en goed voor het lichaam!

Als onderzoeker van HAP neem je samen met twee collega's de reclame van GREEP onder de loep. Jullie zijn benieuwd of de reep wel zo gezond is als de reclame zegt.

- 1 Analyseer de reclametekst en noteer alle voedingsclaims. Zet erbij welke vraagtekens je bij elke claim kunt zetten (dus: wat is onduidelijk of mogelijk misleidend?).
- 2 Op de verpakking van de reep staan de ingrediënten en de voedingswaardetabel van afbeelding 1. Analyseer de gegevens en noteer hoeveel voedingsstoffen één GREEP bevat. Geef de hoeveelheid van elke (groep) voedingsstof(fen) weer in procenten van het totaal.

- 3 Wat is of zijn de belangrijkste functie(s) van elk van de voedingsstoffen in de GREEP?
- 4 Het Voedingscentrum adviseert om elke dag iets te eten uit de vijf vakken van de Schijf van Vijf. Op de ingrediëntenlijst van een verpakt voedingsmiddel staat het ingrediënt dat er het meest in voorkomt als eerste vermeld. Daarna het ingrediënt dat er dan het meest in voorkomt, enzovoort. Ga na of de eerste vijf ingrediënten van de GREEP voorkomen in de Schijf van Vijf en zo ja, in welk vak.
- 5 Zoek uit welke stoffen worden bedoeld met de E-nummers in de GREEP: emulgator E473, kleurstof E150 en antioxidant E306.
- 6 Geef samen met je collega's eerlijke informatie over de GREEP en gezond eten. Doe dat in de vorm van een infographic. Verwerk hierin de informatie die je hebt verzameld.
 - Geef aan welke ingrediënten en voedingsstoffen in de GREEP zitten en waarvoor je lichaam die stoffen nodig heeft (of niet).
 - Geef ook aan wat de gevolgen kunnen zijn als je te veel repen per dag eet.
 - Als je voedingsclaims gebruikt in jullie informatie, moeten die juist en volledig zijn.

In je infographic kun je de volgende begrippen gebruiken: *bewerkt/onbewerkt voedsel – cholesterol (HDL/LDL) – eiwitten – energiebehoefte – gezond gewicht – koolhydraten – Schijf van Vijf – vetten – welvaartsziekten.*

▼ Afb. 1 Voedingswaardetabel.

Voedingswaarde	Per 100g	Per reep 75g (n.v.)	Granenreep met hazelnoten. Ingrediënten: Geroosterde volkoren graanvlokken (haver (20%), gerst (4%), tarwe (3%)), glucose-fructosestroop, granencrispies (tarwemeel (8%), suiker, maïsmeel (1%), rijstmeel (1%), gerstmout, zout, karamelsuikerstroop), glucosestroop, hazelnoten (10%), suiker, cornflakes (maïs (6%), zout, gerstmoutextract), kokosvet, geroosterde kokosvlokken, honing (1%), zout, karamelsuikerstroop, emulgator (E473), natuurlijk aroma, kleurstof (E150), antioxidant (E306).
Energie	1824 kJ / 434 kcal	1368 kJ / 327 kcal (n.v.)	
Vet	18 g	12 g (n.v.)	
van welke verzadigde vetzuren	7,8 g	6,0 g (n.v.)	
cholesterol	0,3 mg	4,0 mg	
Koolhydraten	84 g	46 g	
van welke suikers	38 g	21,3 g (n.v.)	
Vezels	5,5 g	4,1 g	
Eiwitten	7,6 g	5,7 g	
Zout	0,6 g	0,45 g (n.v.)	
Water	0,4 g	0,3 g	

* Normale waarde van een gemiddeld lichaam (84000 kJ / 2000 kcal)

Leerdoel

- Je kunt de kenmerken en functies noemen van zes groepen voedingsstoffen en van voedingsvezel.

1 Voedingsstoffen

Om alle stofwisselingsprocessen in je lichaam goed te laten verlopen, heb je ongeveer vijftig verschillende voedingsstoffen nodig. Die krijg je bijna allemaal binnen door gevarieerd te eten en te drinken.

VOEDING

Eten en drinken is voor jou, als heterotroof organisme, noodzakelijk om in leven te blijven. Zo krijg je de stoffen binnen die nodig zijn voor de stofwisselingsprocessen in je lichaam. Alles wat je eet of drinkt, noem je **voedingsmiddelen**.

Voedingsmiddelen bevatten **voedingsstoffen**. Er zijn zes groepen voedingsstoffen: eiwitten, koolhydraten, vetten, water, mineralen en vitaminen. Daarnaast bevat je voedsel voedingsvezels. Al deze stoffen vervullen verschillende functies in je lichaam. Zo worden sommige voedingsstoffen gebruikt als **bouwstof** voor de vorming van organische moleculen bij de voortgezette assimilatie. Deze moleculen zijn nodig voor de vorming van (delen van) cellen en weefsels. Vooral voor groei en ontwikkeling van het lichaam en voor vervanging van afgestorven cellen zijn bouwstoffen nodig.

Brandstoffen zijn voedingsstoffen die energie kunnen leveren voor de dissimilatie (verbranding). De energie die daarbij vrijkomt, is bijvoorbeeld nodig om te bewegen en de lichaamstemperatuur op peil te houden. Ook voor groei, ontwikkeling en herstel is energie nodig.

Je hebt voedingsstoffen van alle zes groepen nodig om gezond te blijven. Een tekort aan voedingsstoffen kan ziekte veroorzaken.

EIWITTEN (PROTEÏNEN)

Eiwitten (proteïnen) zijn ketens van enkele tientallen tot meer dan duizend aminozuren. Er zijn dierlijke en plantaardige eiwitten. Dierlijke eiwitten zitten vooral in vlees, vis, melk, kaas en eieren. Plantaardige eiwitten zitten vooral in brood, graanproducten, peulvruchten, noten en paddenstoelen (zie afbeelding 1). In het verteringstelsel worden eiwitmoleculen uit het voedsel gesplitst in afzonderlijke aminozuurmoleculen, die worden opgenomen in het bloed. Via het bloed worden de aminozuren naar de lever vervoerd en vandaaruit naar alle organen van het lichaam. Bij de eiwitsynthese worden de aminozuren in de cellen weer aan elkaar gekoppeld tot eiwitmoleculen.

In eiwitten van mensen komen twintig verschillende aminozuren voor. Twaalf daarvan kunnen volwassenen zelf maken als ze niet voldoende in het voedsel voorkomen. Dat gebeurt in de lever. De andere acht aminozuren kunnen mensen niet of in onvoldoende hoeveelheden zelf vormen. Daarom moeten deze **essentiële aminozuren** in het voedsel voorkomen.

Eiwitten zijn belangrijke bouwstoffen van cellen en weefsels. Ze maken bijvoorbeeld deel uit van tussencelstof, zoals de collageenvezels in beenweefsel en kraakbeenweefsel. Ook reguleren eiwitten bijna alle processen in een organisme. Ze zijn betrokken bij het transport van stoffen, bij het overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere (celcommunicatie) en bij chemische reacties. Je lichaam kan eiwitten ook gebruiken als brandstof. Eiwitten worden dan eerst omgezet in glucose, dat vervolgens wordt verbrand. Wanneer er niet voldoende glucose beschikbaar is, verbrand je de eiwitten uit je spieren. Hierdoor neemt

▼ **Afb. 1** Voedingsmiddelen die veel eiwitten bevatten.



▼ **Afb. 2** Voedingsmiddelen die veel koolhydraten bevatten.



je spiermassa af. Ook een overschot aan eiwitten en aminozuren in je voeding wordt in je lichaam omgezet in glucose. Bij de dissimilatie van eiwitten ontstaat ammoniak, dat in de lever wordt omgezet in ureum. Ureum wordt uitgescheiden met de urine.

KOOLHYDRATEN (SACHARIDEN)

In afbeelding 2 zie je voedingsmiddelen die veel **koolhydraten** (sachariden) bevatten. Zoete vruchten, jam, stroop en honing bevatten veel glucose, fructose (beide monosachariden) en sacharose (een disacharide). Brood, aardappelen, rijst en macaroni bevatten veel zetmeel (een polysacharide). Dierlijk voedsel bevat relatief weinig koolhydraten.

Koolhydraten zijn belangrijke brandstoffen in je lichaam. Als 1 g koolhydraten wordt verbrand, komt 17 kJ energie vrij. Door koolhydraten te eten kun je in het grootste deel van je energiebehoefte voorzien. Als je te veel koolhydraten eet, zorgt het hormoon insuline ervoor dat een klein deel daarvan wordt omgezet in het polysacharide glycogeen, dat als reservestof wordt opgeslagen in de lever en in spieren. Het grootste deel van de overvloedige hoeveelheid koolhydraten wordt omgezet in vet en opgeslagen onder de huid (in het onderhuidse bindweefsel) of rondom organen (vooral spieren, hart en nieren).

Koolhydraten kunnen ook dienen als bouwstoffen. Een DNA-molecuul bevat bijvoorbeeld het monosacharide desoxyribose en ATP bevat het monosacharide ribose. In celmembranen spelen koolhydraatketens een rol bij de herkenning van de cel door andere cellen.

Voedingsvezels zijn koolhydraten die niet worden verteerd door enzymen van de mens. Voorbeelden zijn cellulose en pectine. Een deel van de voedingsvezels kan in de dikke darm wel worden afgebroken door de enzymen van bacteriën. Voedingsvezels zijn afkomstig uit de celwanden van plantaardige voedingsmiddelen. Ze bevorderen de darmwerking en de stoelgang. Ook zorgen voedingsvezels eerder voor een verzadigd gevoel, waardoor je niet zo snel te veel eet. Hierdoor behoud je gemakkelijker een gezond gewicht.

VETTEN (LIPIDEN)

Voedingsmiddelen als halvarine, zonnebloemolie, vlees, vis, kaas, noten, koek, snacks en sauzen bevatten **vetten** (zie afbeelding 3). Een vetmolecuul is opgebouwd uit een glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen. Deze vetzuren kunnen **verzadigd** of **onverzadigd** zijn (zie afbeelding 4). Bij een verzadigd vetzuur zijn alle bindingsplaatsen van de C-atomen bezet door waterstofatomen. Bij een onverzadigd vetzuur is dat niet het geval. Tussen C-atomen die niet bezet zijn door waterstofatomen, wordt een dubbele binding gemaakt. Vooral plantaardige oliën (bijvoorbeeld olijf- en zonnebloemolie) en vis bevatten veel onverzadigde vetzuren.

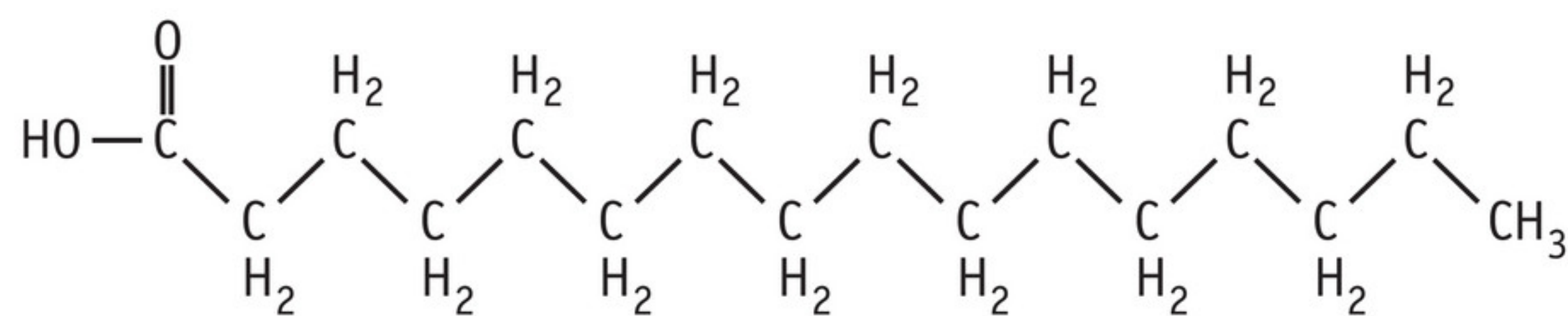
Dierlijke vetten bevatten veel verzadigde vetzuren.

Je lichaam kan glycerol en de meeste vetzuren vormen uit andere organische stoffen. Daardoor hoeft je voedsel maar weinig vetten te bevatten. Alleen enkele onverzadigde vetzuren moeten in het voedsel voorkomen. Een voorbeeld van deze **essentiële vetzuren** is linolzuur.

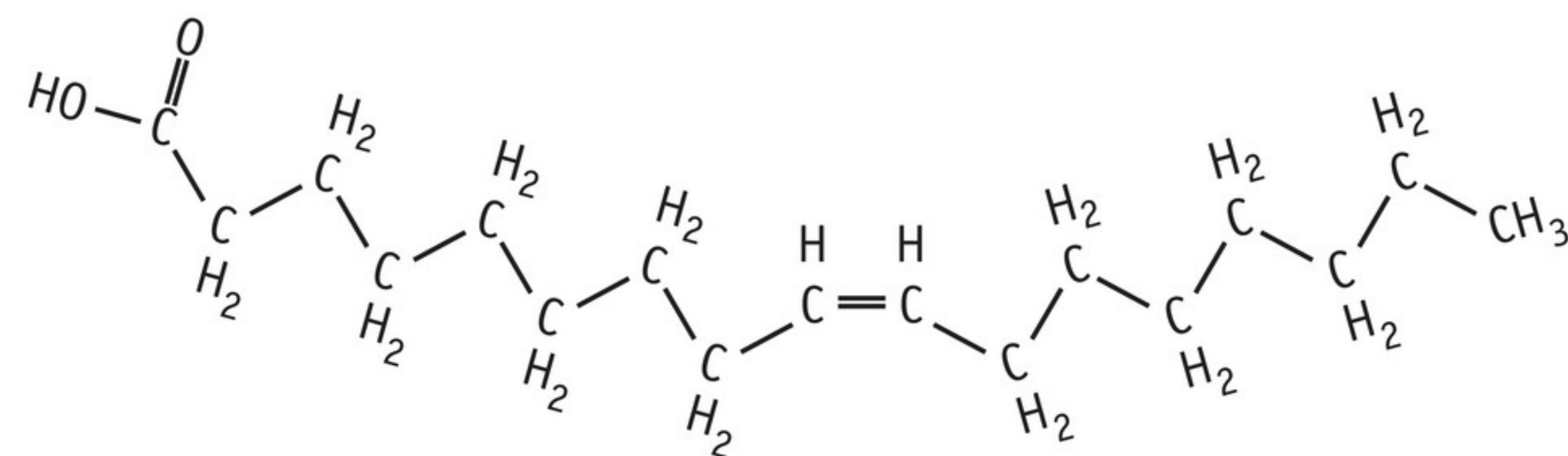
▼ **Afb. 3** Voedingsmiddelen die veel vetten bevatten.



▼ Afb. 4 Vetzuurmoleculen.



1 structuurformule van een verzadigd vetzuur (palmitinezuur)



2 structuurformule van een (enkelvoudig) onverzadigd vetzuur (oliezuur)

Vetten dienen vooral als brandstoffen in je lichaam. Bij de verbranding van 1 g vet komt 38 kJ energie vrij. Als je te veel vetten eet, sla je ze als reserve-energiebron op onder de huid en rondom je organen. Het vet onder de huid heeft een warmte-isolerende functie.

Vetten dienen ook als bouwstoffen. Fosfolipiden (vetachtige stoffen) vormen een belangrijk bestanddeel van membranen. Sommige vitaminen (A, D, E en K) zijn oplosbaar in vet, waardoor je ze alleen via vet binnenkrijgt. **Cholesterol** is een vet dat je voor een klein deel binnenkrijgt via je voeding. De meeste cholesterol wordt aangemaakt door de lever. Cholesterol komt voor in celmembranen en wordt gebruikt bij de productie van hormonen, gal en vitamine D.

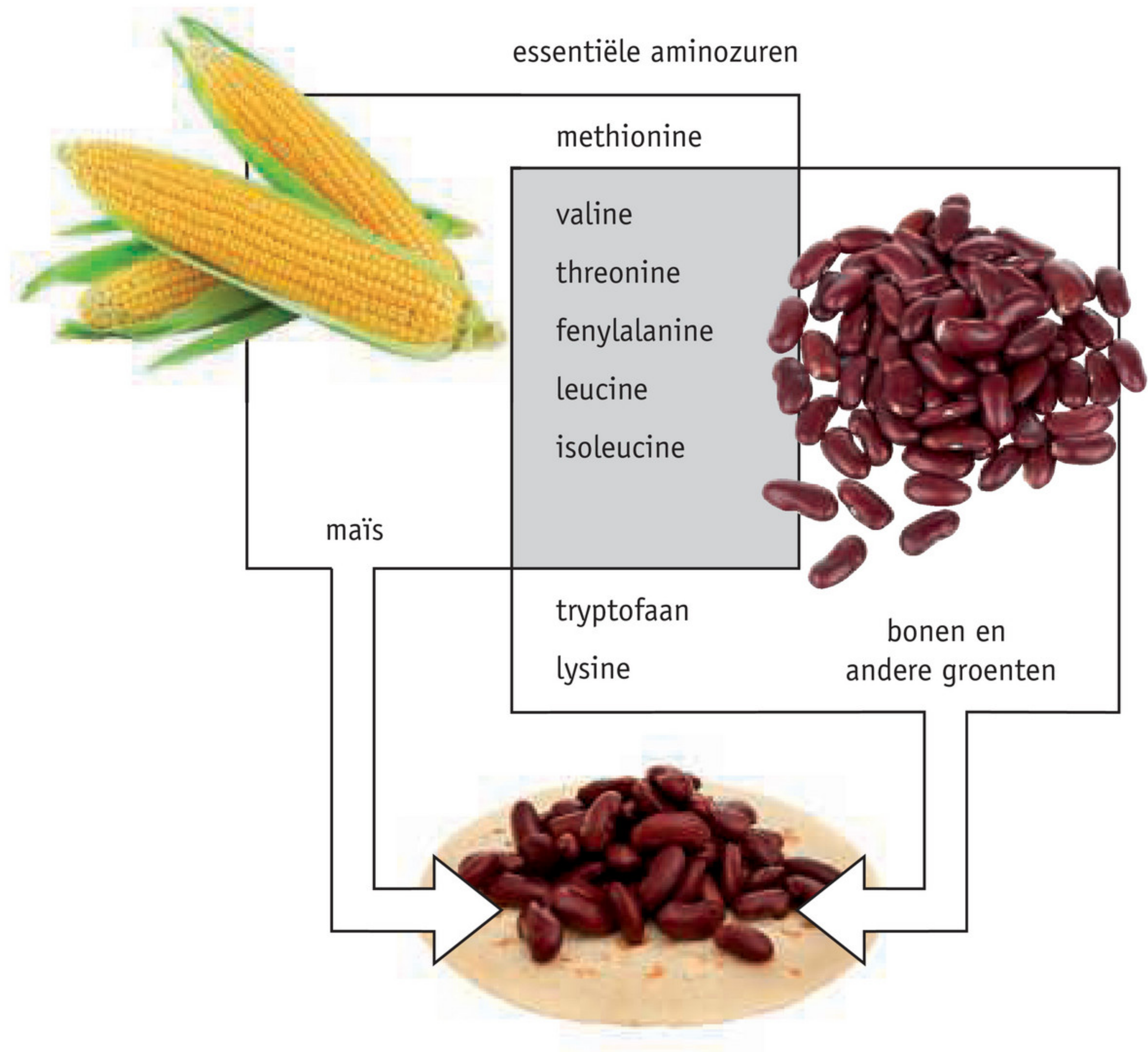
opdrachten

- 1 Ongeveer 50% van het drooggewicht van een cel van een mens bestaat uit eiwitten. Verschillende typen eiwitten vervullen uiteenlopende functies. Maak een overzicht van deze functies door de tabel verder in te vullen. Gebruik daarbij: *actine – aquaporine – ATP’ase – collageenvezels – DNA-polymerase – enzymen – GnRH – hormonen – myosine – natrium-kaliumpomp – receptoreiwit voor acetylcholine op de spiervezels – receptoren – testosteron – transporteiwitten.*

Functie eiwit	Type eiwit	Voorbeeld
Overbrengen van signalen van de ene cel naar de andere (celcommunicatie)		
Vervoeren van stoffen door membranen of in het bloed		
Chemische omzettingen katalyseren		
Beweging van spieren mogelijk maken	motoreiwitten	
Bestanddeel van tussencelstof	structuureiwitten	
Cellulaire respons op gang brengen wanneer een signaalmolecuul bindt		

- 2 In je lichaam worden eiwitten opgebouwd uit aminozuren.
- In welke organellen vindt de synthese van eiwitmoleculen uit aminozuurmoleculen plaats?
 - Vlees en dierlijke producten zoals eieren, melk en kaas leveren alle essentiële aminozuren, maar een groot deel van de wereldbevolking is noodgedwongen vegetariër doordat ze geen vlees kunnen betalen. Leg met behulp van afbeelding 5 uit dat het voor arme mensen in Zuid-Amerikaanse landen van belang is om ten minste een combinatie van maïs en bonen te eten.
 - Waardoor kan een vegetariër in Zuid-Amerika ziek worden als hij alleen maar bonen eet en geen maïs?

► **Afb. 5** Een vegetarisch dieet.

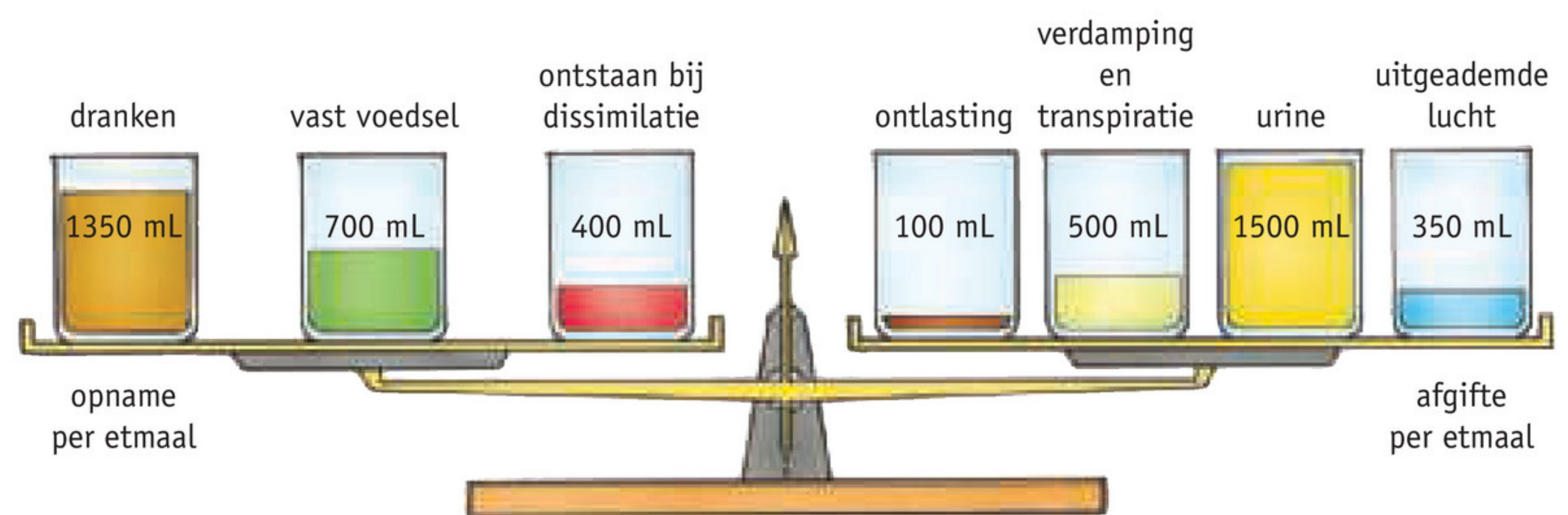


- 3 Ralph eet veel vlees en vleeswaren. Hierdoor krijgt hij met zijn voedsel veel meer eiwitten binnen dan hij nodig heeft.
- Wat gebeurt er met het teveel aan eiwitten dat Ralph binnenkrijgt?
 - Heeft Ralph dezelfde hoeveelheid koolhydraten nodig als iemand die geen overmaat aan eiwitten met zijn voedsel binnenkrijgt? Leg je antwoord uit.
 - Als je te veel eiwitten met je voedsel binnenkrijgt, wordt het overschot niet opgeslagen in je lichaam maar verbrand. Toch kun je van te veel eiwitten in je voedsel dik worden. Leg dat uit.
- 4 Bekijk afbeelding 4.1 en 4.2.
Beschrijf het verschil tussen een molecuul van een verzadigd vetzuur en een molecuul van een onverzadigd vetzuur.

- ▼ **Afb. 6** Voedingsmiddelen die veel water bevatten.



- **Afb. 7** Waterbalans: de gemiddelde waarden per etmaal.



MINERALEN (ZOUTEN)

In afbeelding 8 zie je voedingsmiddelen die veel **mineralen** (zouten) bevatten. Mineralen zijn anorganische stoffen zoals calcium, fosfor, kalium en natrium. Je hebt dagelijks allerlei soorten mineralen nodig om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. In gezonde voeding zitten voldoende mineralen. Van het mineraal natrium krijgen veel mensen zelfs te veel binnen via keukenzout (natriumchloride).

Sommige mineralen worden gebruikt als bouwstoffen. Zo zorgt calcium ervoor dat je botweefsel hard is en geeft het stevigheid aan tandbeen. Fosfor geeft, net als calcium, stevigheid aan botten en tanden.

Mineralen kunnen ook andere functies vervullen. Calcium is bijvoorbeeld nodig om je bloed te laten stollen. Kalium zorgt er samen met natrium voor dat zenuwcellen impulsen kunnen geleiden.

- ▼ **Afb. 8** Voedingsmiddelen die veel mineralen bevatten.



Sommige mineralen heb je slechts in zeer kleine hoeveelheden nodig. Deze mineralen worden **spooorelementen** genoemd. Voorbeelden hiervan zijn chroom, fluor, jodium en ijzer. Fluor versterkt het tandglazuur. Ijzer is nodig voor de vorming van hemoglobine, een molecuul in rode bloedcellen dat verantwoordelijk is voor zuurstoftransport. Spooorelementen zijn in je lichaam vaak bestanddelen van enzymen en hormonen. Zo speelt chroom een rol bij de werking van insuline en bevat het schildklierhormoon jodium.

▼ **Afb. 9** Voedingsmiddelen die veel vitaminen bevatten.



▼ **Afb. 10** O-benen door een tekort aan vitamine D (rachitis).



▼ **Afb. 11** Kenmerken van enkele vitaminen.

	Is nodig voor	Komt voor in	Gebreksziekte
A	– de aanmaak van cellen en de weefselstructuur van de huid – de vorming van epitheelcellen in huid, haar, luchtpijp, tandvlees en longweefsel – een goede werking van de staafjes in het netvlies	– melk, boter, margarine, lever, ei, vis – provitamine A komt voor in tomaten, worteltjes	– slecht zien in de schemering (nachtblindheid) – verhoornen van het hoornvlies (leidt tot blindheid) – schilferen van de huid – verminderde weerstand
B1	een goede werking van zenuwstelsel en spieren	vlees, eieren, gist, volkorenbrood, peulvruchten, granen, aardappelen	– vermoeidheid – zenuwontstekingen – spierverlammingen (beriberi)
C	– de vorming van bindweefsel en bloedvaten – goede weerstand – bevordert de absorptie van ijzer in de darmen	fruit (vooral citrusvruchten), kool en andere bladgroenten, nieuwe aardappelen	– vermoeidheid – verminderde weerstand – tandvleesbloedingen – inwendige bloedingen (scheurbuik)
D	de resorptie van calcium en het vastleggen van calcium in beenderen en het gebit	– margarine, eidooier, vette vis, paddenstoelen – kan in de huid worden gevormd onder invloed van ultraviolette straling in zonlicht	– ontkalken van beenderen – vergroeiingen (rachitis)
K	een goede bloedstolling	groene bladgroenten, fruit, melk, melkproducten, vlees, eieren, granen	stoornissen in de bloedstolling (bloedingen)

VITAMINEN

De voedingsmiddelen in afbeelding 9 bevatten veel vitaminen. **Vitaminen** zijn organische stoffen die nodig zijn om de processen in je lichaam goed te laten verlopen. Ze worden aangegeven met een letter. Belangrijke vitaminen zijn A, B, C, D en K. Vitamine B is een verzamelnaam voor verschillende vitaminen die worden aangegeven met cijfers, bijvoorbeeld B1 en B6.

Vitamine K kan worden gemaakt door bacteriën in de dikke darm. Alle andere vitaminen kunnen niet in je lichaam worden gevormd en moeten daardoor in je voedsel aanwezig zijn. Sommige vitaminen zijn in je voedsel aanwezig als provitaminen. Uit een provitamine kan je lichaam dan zelf de vitamine vormen. Uit provitamine D bijvoorbeeld kan je lichaam onder invloed van zonlicht vitamine D aanmaken in de huid.

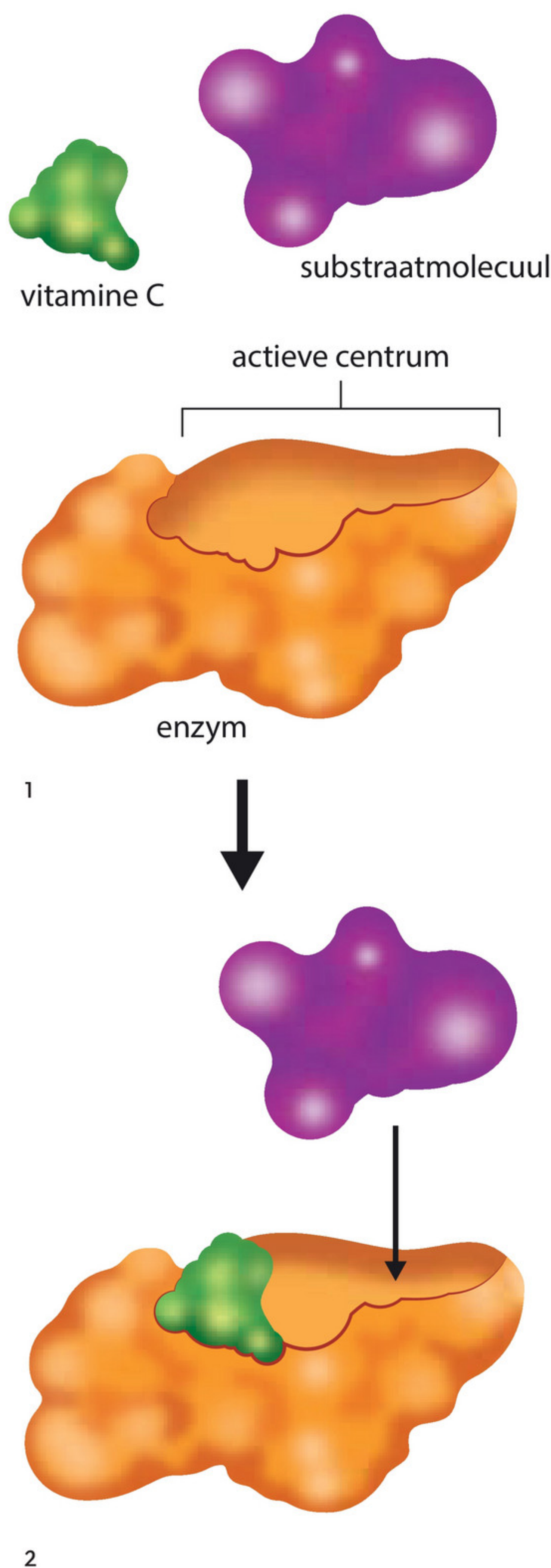
Net als spoorelementen zijn veel vitaminen in je lichaam bestanddelen van enzymen. Ze zijn dus nodig om stofwisselingsreacties goed te laten verlopen. Bij gebrek aan vitaminen ontstaan **gebreksziekten** (zie afbeelding 10 en 11). Ook als je te veel vitaminen binnenkrijgt, kun je ziek worden. Volgens de Gezondheidsraad bevat gevarieerde voeding voldoende vitaminen en provitaminen. Alleen bepaalde risicogroepen, zoals zwangere vrouwen of veganisten, hebben extra vitamine D, K, B11 (foliumzuur) of B12 nodig. In afbeelding 11 staan kenmerken van enkele vitaminen. In je **Binas** (tabel 82A) vind je een uitgebreider overzicht.

►► PRACTICUMOPDRACHT 1 EN 2

opdrachten

- 5 Maak een tabel waarin je van de zes groepen voedingsstoffen aangeeft:
- of ze fungeren als bouwstoffen en/of als brandstoffen;
 - welke andere functies ze hebben.
- 6 Voldoende water is onmisbaar voor het goed functioneren van je lichaam.
- a Noem vijf manieren waarop je lichaam water kan kwijtraken.
 - b Hoeveel water heb je dagelijks ongeveer nodig volgens de waterbalans van afbeelding 7?
 - c Hoeveel water moet je dagelijks via voedingsmiddelen binnenkrijgen?
 - d Waterintoxicatie of watervergiftiging kan ontstaan wanneer iemand te veel water drinkt. In 2016 overleed een toeriste in Amsterdam nadat ze een grote hoeveelheid water had gedronken. Ze was onder invloed van softdrugs. Door het drinken van veel water neemt de osmotische waarde van het bloed en van andere vloeistoffen buiten de cel af. Leg uit welke gevolgen dit heeft voor de lichaamscellen.
- 7 Niet iedereen heeft evenveel mineralen nodig.
- a Vrouwen hebben in de vruchtbare periode van hun leven meer ijzer nodig dan mannen. Leg dit uit.
 - b Een kaliumtekort komt niet vaak voor. Je kunt het onder andere herkennen aan verzwakte spieren. Leg uit hoe een kaliumtekort leidt tot verzwakte spieren.
- 8 Enzymen katalyseren stofwisselingsprocessen zonder daarbij zelf te worden verbruikt. Een enzym heeft een actief centrum met een specifieke ruimtelijke structuur waarop precies een substraatmolecuul past. Zodra een substraatmolecuul bindt aan het actieve centrum, vindt een reactie plaats.
- a Veel enzymen zijn alleen actief met de hulp van vitaminen en mineralen. Leg uit dat je van deze vitaminen en mineralen slechts zeer kleine hoeveelheden nodig hebt in je voeding.
 - b Vitamine C is onmisbaar voor de vorming van collageen. Collageen zorgt voor stevigheid en elasticiteit van bindweefsels in onder andere je huid, botten, bloedvaten en tussen je organen. Bij de productie van collageen worden drie collageenvezels met behulp van verschillende enzymen in elkaar gedraaid als bij een touw voor een steviger structuur. Afbeelding 12 geeft de werking van een van deze enzymen weer. Leg uit dat vitamine C nodig is om de chemische reactie in het enzym te laten verlopen.
 - c Een student die op een dieet van pizza's leeft, krijgt na verloop van tijd last van bloedend tandvles en blauwe plekken die ontstaan door spontane inwendige bloedingen. Verklaar deze symptomen.
- 9 Bepaalde risicogroepen krijgen niet genoeg vitaminen binnen via eten en drinken of door zonlicht. Voor deze groepen heeft de Gezondheidsraad een advies opgesteld om extra vitaminen te slikken.
- a Zoek op de site van het Voedingscentrum voor welke risicogroepen dit advies geldt en om welke vitaminen het gaat.
 - b Waarom geven veel ouders hun opgroeiende kinderen in de wintermaanden extra vitamine D?
 - c Bacteriën in de dikke darm kunnen vitamine K aanmaken. Om welk type symbiose gaat het hier? Leg je antwoord uit.

▼ **Afb. 12** De werking van een enzym bij de vorming van collageen.



- d Volwassenen die langdurig antibiotica gebruiken, kunnen een tekort krijgen aan vitamine K met als gevolg dat de bloedstolling langzamer gaat. Leg uit hoe een tekort aan vitamine K kan ontstaan door gebruik van antibiotica.
- e Waarom adviseert de Gezondheidsraad om baby's vitamine K toe te dienen?

CONTEXT

Wetenschap

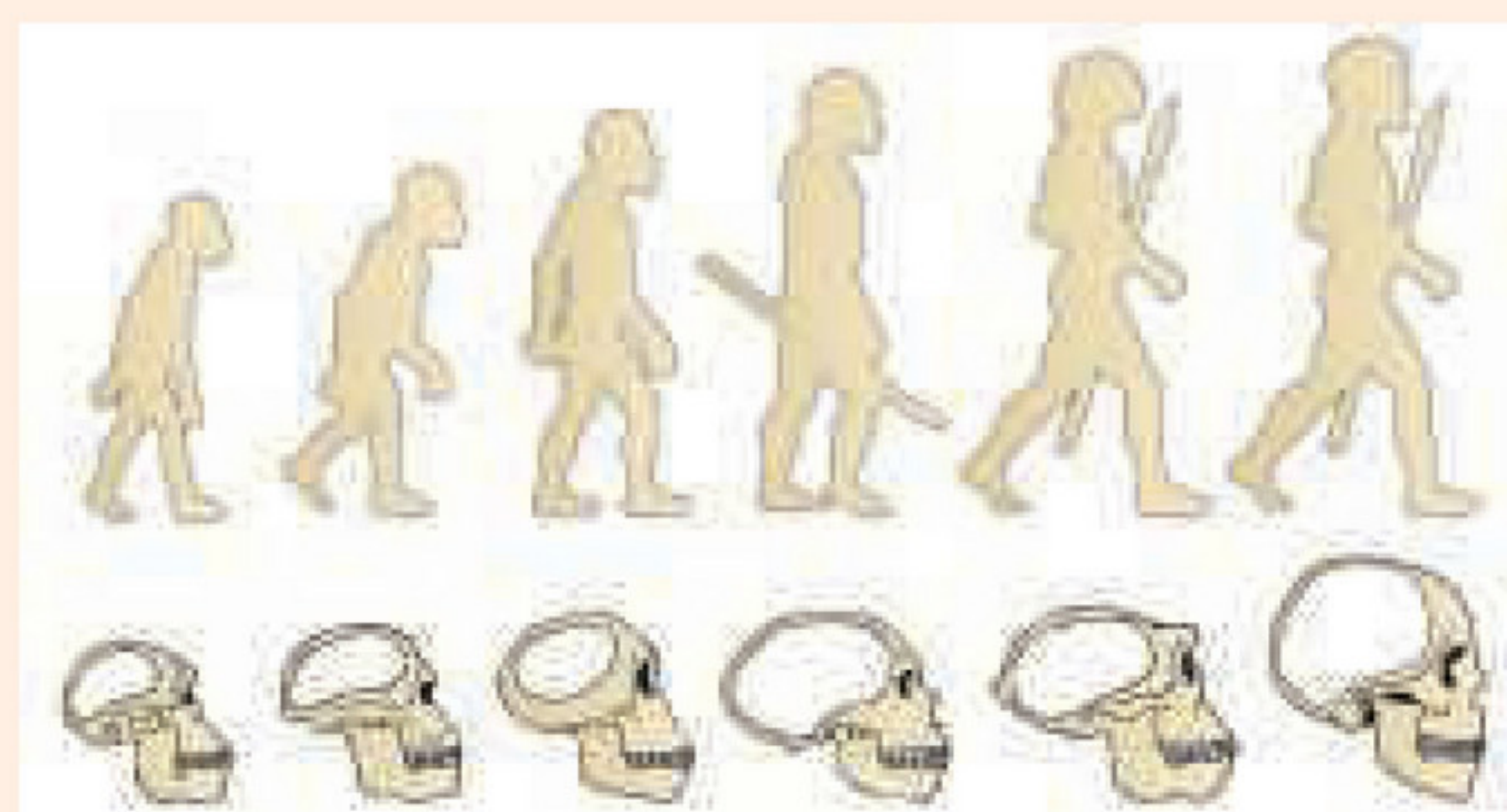
Voedsel voor het brein

Mensen zijn bijzondere wezens. Ze lopen op twee benen en hebben hersenen met bijzonder veel zenuwcellen. Voor het functioneren van al die zenuwcellen in je hersenen is veel brandstof nodig. Ongeveer een kwart van alle energie die je dagelijks met je voedsel binnenkrijgt, wordt gebruikt in de hersenen. Wetenschappers gaan er daarom van uit dat het aantal zenuwcellen in de hersenen samenhangt met de hoeveelheid energie die beschikbaar is. Volgens Dr. Karen Hardy is het gemiddelde aantal zenuwcellen in de hersenen van de mens sterk toegenomen sinds we de laatste anderhalf miljoen jaar meer koolhydraten zijn gaan eten (vooral meer zetmeel). Tegelijkertijd kregen we in ons DNA meer kopieën van de genen voor de synthese van speekselamylase. Dit enzym katalyseert de vertering van zetmeel.

opdracht

- 10 a Waarvoor gebruiken zenuwcellen in de hersenen de meeste energie?
- b Sara weegt 65 kg en verbruikt ongeveer 8400 kJ per dag. Hoeveel energie verbruiken haar hersenen per dag?
- c Zo'n anderhalf miljoen jaar geleden zijn mensen hun voedsel gaan koken, bakken en roosteren. Mensen zijn de enige organismen op aarde die dit doen. Hierdoor is voedsel gemakkelijker te kauwen en te verteren en per portie komen er meer voedingsstoffen vrij. Leg uit dat gekookt plantaardig voedsel gemakkelijker is te verteren door ons verteringsstelsel.
- d Waardoor kunnen de darmen van mensen in verhouding zo'n 40% korter zijn dan de darmen bij andere primaten?
- e Primaten vormen de orde van zoogdieren waar ook mensen toe behoren. De meeste primaten bezitten twee kopieën van het gen voor de synthese van speekselamylase in hun DNA. Mensen bezitten zes kopieën. Zetmeel was voor onze voorouders volop beschikbaar in de vorm van knolgewassen, zaden en fruit. Leg uit hoe het bezitten van meer kopieën van het gen voor de synthese van speekselamylase het vermogen om zetmeel te verteren bij mensen kan verhogen.

► **Afb. 13** De ontwikkeling van de hersenen bij de mens.



Leerdoelen

- Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven en de relatie herkennen tussen de bouw en hun functie.
- Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en orgaanstelsels van de mens en van verschillende diersoorten.

2 Het verteringsstelsel

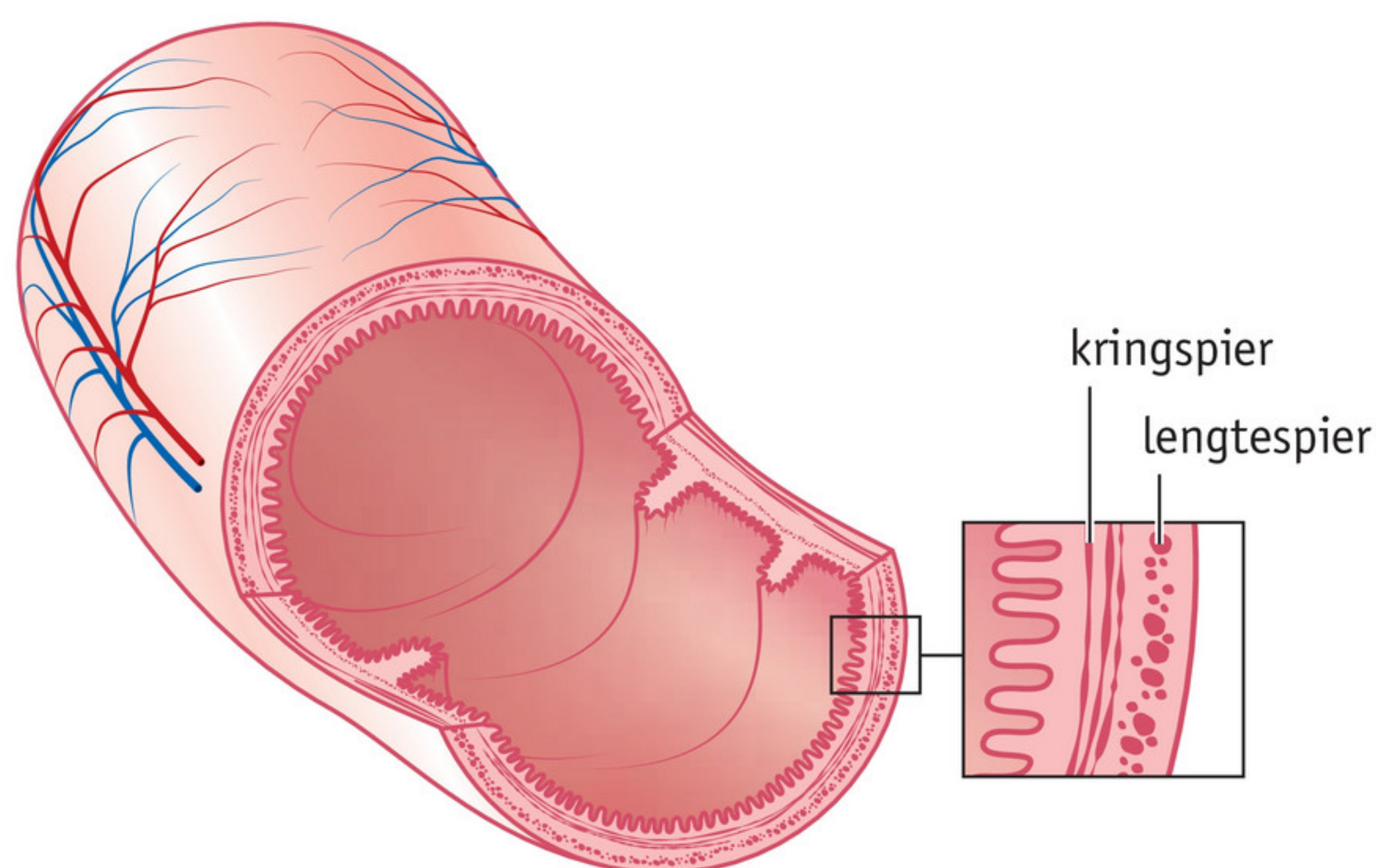
Het spijsverteringskanaal bestaat uit een lange buis en lichaamsholten. Via de mond komt het voedsel binnen en via de anus verlaten onverteerde resten het lichaam. Onderweg worden voedingsstoffen uit het voedsel opgenomen in het bloed.

HET DARMKANAAL

In het darmkanaal (verteringskanaal) vindt vertering van het voedsel plaats. Grote organische moleculen (eiwitten, koolhydraten en vetten) uit de voedselbrij worden met behulp van enzymen afgebroken tot kleine moleculen: de **verteringsproducten**. Die worden vervolgens via de cellen van de darmwand opgenomen in het bloed. In het lichaam kunnen van deze kleine moleculen weer grote moleculen worden gemaakt (voortgezette assimilatie).

In de wand van het hele darmkanaal bevinden zich kringspijeren en lengtespijeren (zie afbeelding 14). Door het afwisselend samentrekken van deze spieren ontstaat de **darmperistaltiek**. Hierdoor wordt de voedselbrij voortgeduwd, gekneet en goed gemengd met de **verteringssappen**, die **verteringsklieren** afgeven aan de voedselbrij in het darmkanaal. Veel verteringssappen bevatten enzymen.

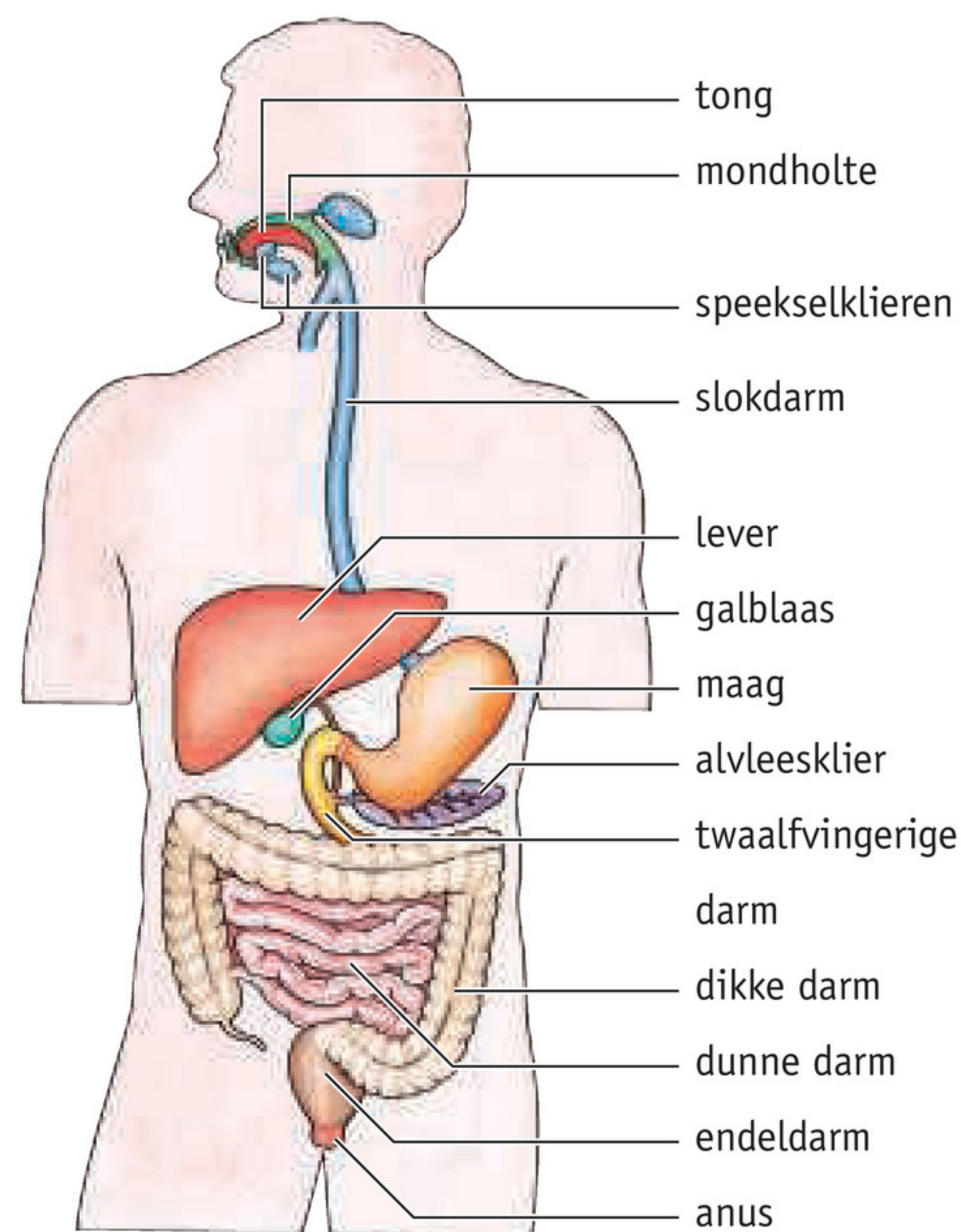
► **Afb. 14** Kringspijeren en lengtespijeren in het darmkanaal (schematisch).



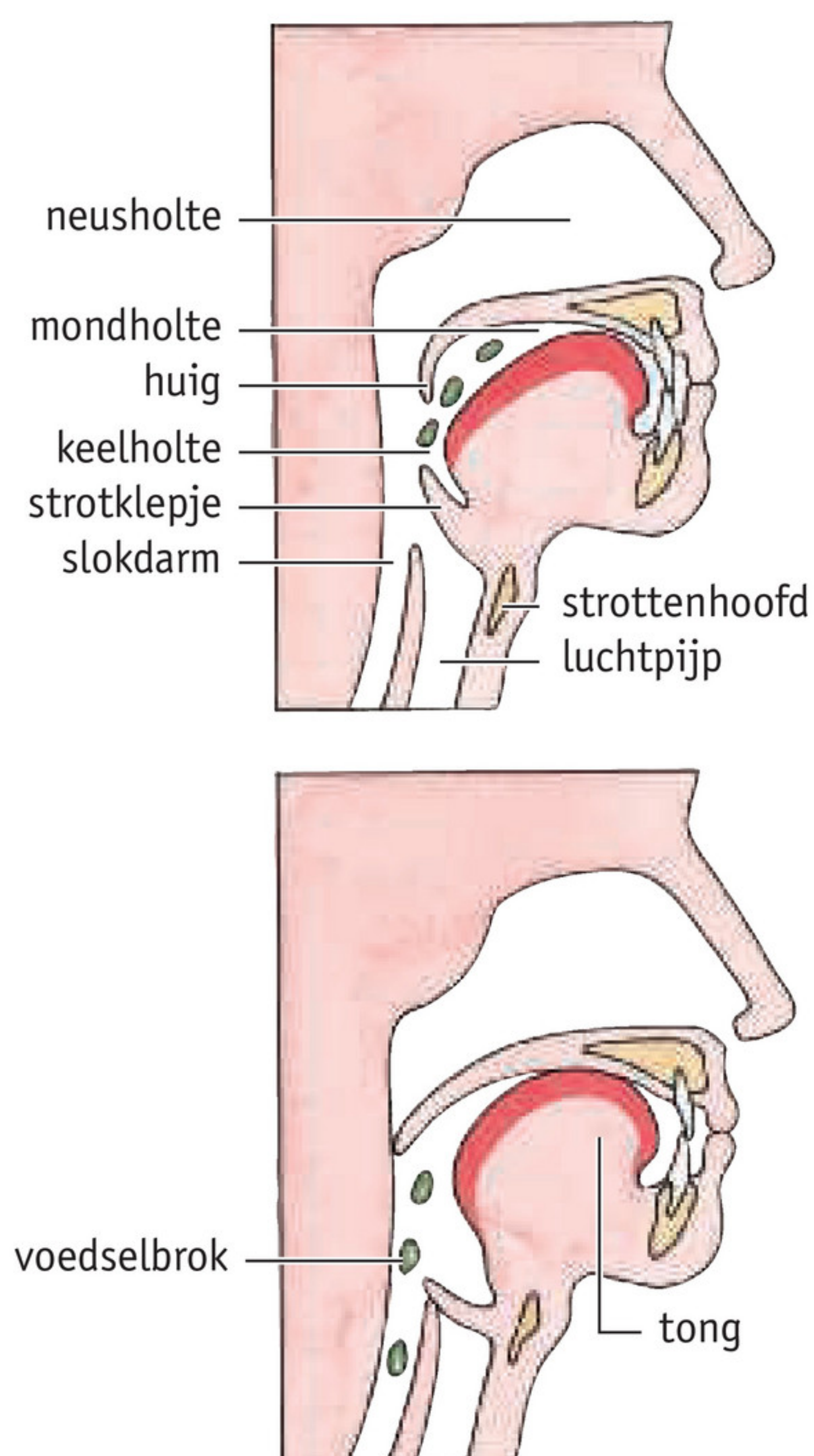
De darmperistaltiek wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel. Je kunt de peristaltische bewegingen dus niet bewust versnellen of vertragen. Voedingsvezels en lichaamsbeweging stimuleren de darmperistaltiek, vooral in de dikke darm. Hierdoor verloopt de stoelgang goed.

In afbeelding 15 is het verteringsstelsel van de mens getekend. Het voedsel ondergaat in je darmkanaal allerlei bewerkingen. Het kauwen van voedsel met je gebit en het kneden en mengen van de voedselbrij door de darmperistaltiek noem je **mechanische vertering**. Hierdoor kunnen enzymen uit verteringssappen beter op het voedsel inwerken. De bewerking van voedsel door enzymen noem je **chemische vertering**.

► **Afb. 15** Het verteringsstelsel van de mens (schematisch).



▼ **Afb. 16** De slikreflex (schematisch).



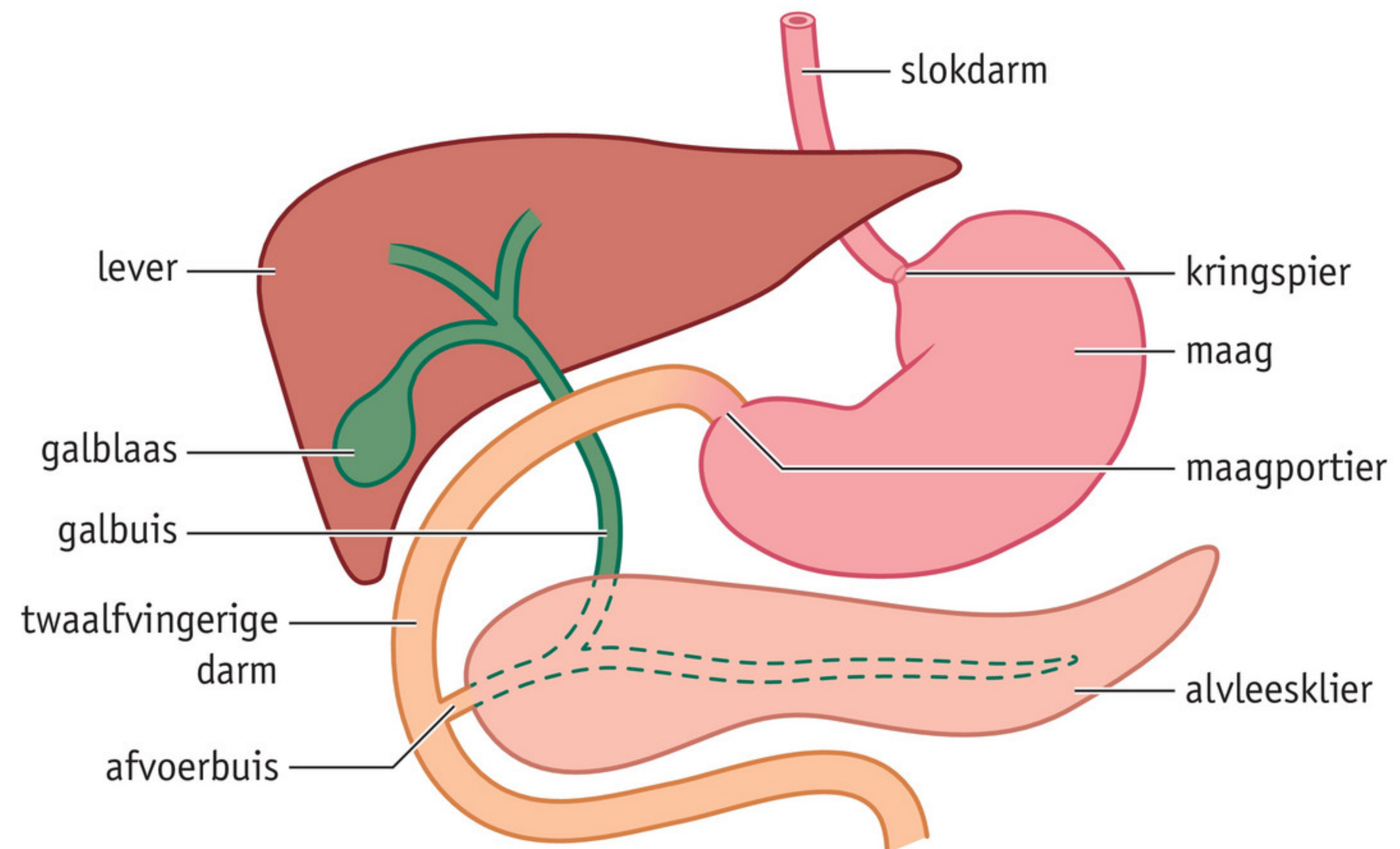
DE VERTERINGSORGANEN

Snijtanden en hoektanden gebruik je vooral voor het afbijten van stukken voedsel. Voedsel kauwen doe je met je kiezen. Door te kauwen verdeel je het voedsel in kleine stukjes, waardoor het totale oppervlak van het voedsel wordt vergroot. Ook meng je het voedsel met speeksel. De enzymen in speeksel kunnen daardoor goed op het voedsel inwerken en het inslikken van de voedselbrokken gaat gemakkelijker doordat speeksel slijmerig is. Met de tong duw je het gekauwde voedsel naar de keelholte. Voedsel in de keelholte veroorzaakt prikkels die de slikreflex in werking zetten. De neusholte wordt afgesloten met de **huig**. Tegelijk beweegt het **strottenhoofd** iets omhoog en het **strotklepje** kantelt naar achter. Daardoor wordt de toegang naar de luchtpijp afgesloten (zie afbeelding 16). Het voedsel kan dan alleen de **slokdarm** in.

Het slikken zet in de slokdarm peristaltische bewegingen in werking, zodat het voedsel naar de **maag** wordt getransporteerd. De maag heeft bij de ingang en uitgang een kringspier die de passage van voedsel reguleert. De kringspier tussen slokdarm en maag ontspant zich na het slikken, waardoor het voedsel in de maag terechtkomt. In de maag wordt het voedsel tijdelijk opgeslagen doordat de andere kringspier (de **maagportier**) de uitgang afsluit. Gemiddeld blijft een maaltijd drie tot vier uur in de maag zodat verteringssappen goed op het voedsel kunnen inwerken. Kliertjes in de wand van de maag voegen **maagsap** toe aan het ingeslikte voedsel. Maagsap bevat onder andere een enzym, zoutzuur (HCl) en slijm. Het zoutzuur zorgt voor een sterk zuur milieu in de maag. Dit doodt bacteriën die met het voedsel zijn meegekomen. Het slijm vormt een beschermende laag tegen de binnenzijde van de maagwand. Dit verhindert dat het maagsap de epitheelcellen van de maagwand aantast.

Van tijd tot tijd ontspant de maagportier zich. Een kleine hoeveelheid voedsel gaat dan door naar de **twalfvingerige darm**. Dit is het eerste gedeelte van de dunne darm. De twalfvingerige darm heet zo omdat hij twaalf vingerbreedtes lang is, oftewel 20-25 cm. In de twalfvingerige darm monden de afvoerbuizen van de lever en de alvleesklier uit (zie afbeelding 17).

► **Afb. 17** De ligging van de maag, lever, galblaas, alvleesklier en twalfvingerige darm (schematisch).



GAL EN DARMSAP

De **lever** produceert **gal**. Gal wordt tijdelijk opgeslagen in de **galblaas**. De galblaas geeft gal af via de galbuis als vethoudend voedsel de wand van de twalfvingerige darm passeert. Gal bevat galkleurstoffen en galzouten. De **galkleurstoffen** zijn afbraakproducten van dode rode bloedcellen. Ze geven de bruine kleur aan de ontlasting. De **galzouten** verdelen grote vetdruppels in het voedsel in kleine druppeltjes. Dit heet **emulgeren** (zie afbeelding 18). Door emulgeren wordt het totale oppervlak van de vetdruppels sterk vergroot. Dat is nodig, omdat vetten en oliën niet mengen met water maar grote druppels vormen (zie afbeelding 19).

De **alvleesklier (pancreas)** produceert **alvleessap**. In de wand van de dunne darm bevinden zich kliertjes die darmsap afscheiden. Alvleessap en darmsap bevatten verschillende enzymen.

▼ **Afb. 18** Gal emulgeert vetten.



grote vetdruppels

vetdruppels geëmulgeerd
in kleine vetdruppeltjes

▼ **Afb. 19** Water met vetdruppels.

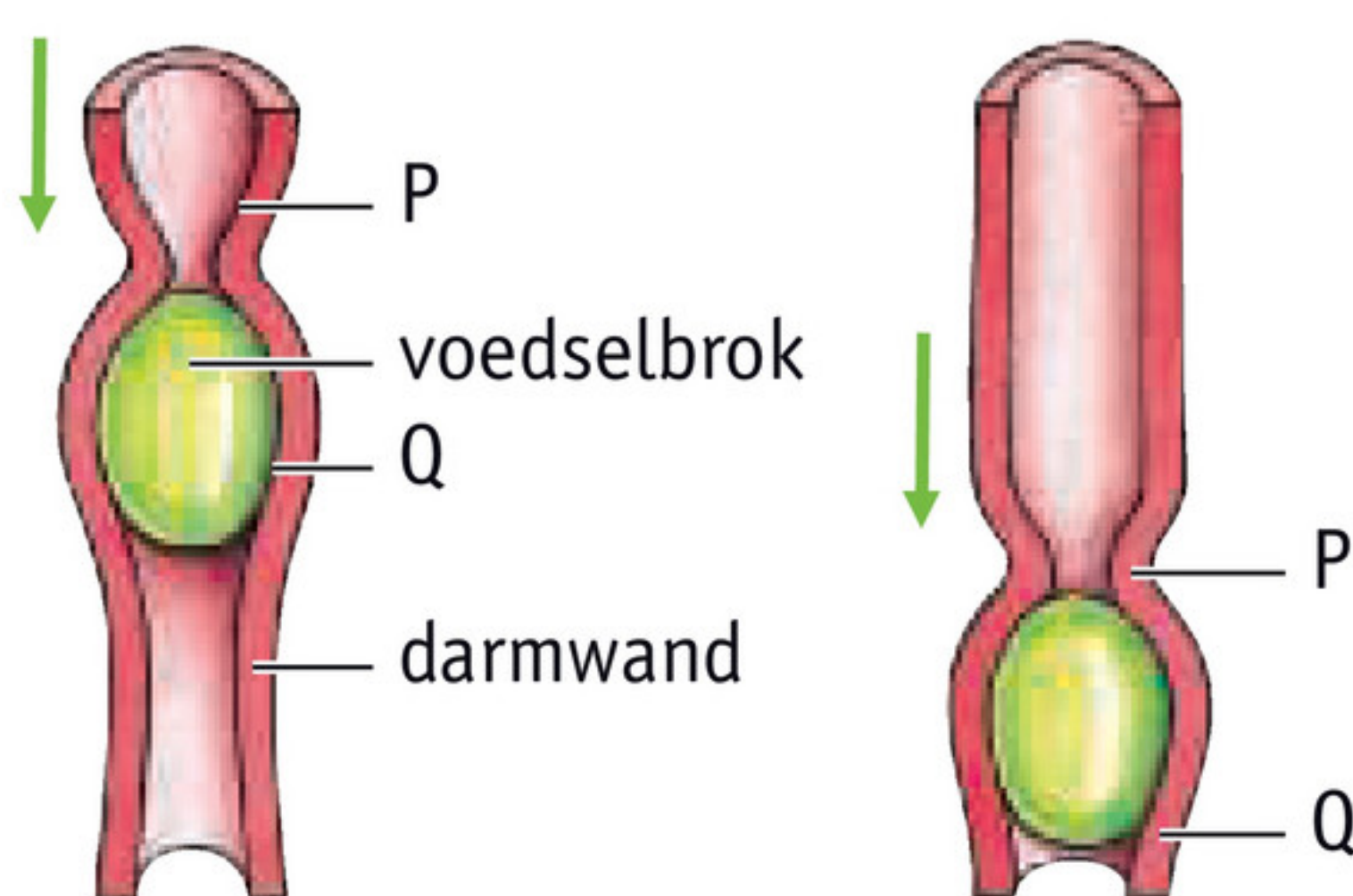


vetdruppel

opdrachten

- 11 a Noem drie functies van het kauwen van voedsel en geef aan wat het effect ervan is.
 b Als je in de lach schiet terwijl je aan het drinken bent, kun je je verslikken en kan er ook drank in je neusholte terechtkomen. Leg uit hoe dit gebeurt.
- 12 Wat is het nut van emulgeren voor de vertering van vetten?
- 13 Afbeelding 20 geeft weer hoe een voedselbrok wordt voortgeduwd door darmperistaltiek.
 a Door veel plantaardig voedsel te eten, kun je een verstopping (constipatie) voorkomen. Leg dat uit.
 b Welke spieren in de wand van het darmkanaal trekken zich samen op de plaatsen P in de afbeelding? En welke spieren op de plaatsen Q?
 c Kan er voedsel van je mond in je maag komen als je op je hoofd staat? Leg je antwoord uit.
 d Door voedsel onhygiënisch te bewaren of te bereiden, kunnen ziekmakende micro-organismen in het voedsel terechtkomen en zich snel vermenigvuldigen. Sommige van deze micro-organismen produceren afvalstoffen die giftig voor ons zijn. De peristaltiek in de dunne en dikke darm vindt plaats in een frequentie van tien tot dertig samentrekkingen per minuut. Giftige stoffen in de voedselbrij kunnen een veel snellere en krachtigere peristaltiek veroorzaken. Hoe merk je dat de darmperistaltiek sneller en krachtiger is?
 e Wat is het nut van een snellere en krachtigere darmperistaltiek wanneer de voedselbrij giftige stoffen bevat?
 f Ook door overgeven (braken) kun je giftige stoffen uit je lichaam verwijderen. Wanneer receptoren in het braakcentrum in de hersenstam worden geprikkeld door chemische stoffen in het bloed, gaan er impulsen naar de kringspieren en lengtespieren in het darmkanaal. Welke gevolgen hebben deze impulsen voor de darmperistaltiek?

▼ Afb. 20 Darmperistaltiek.



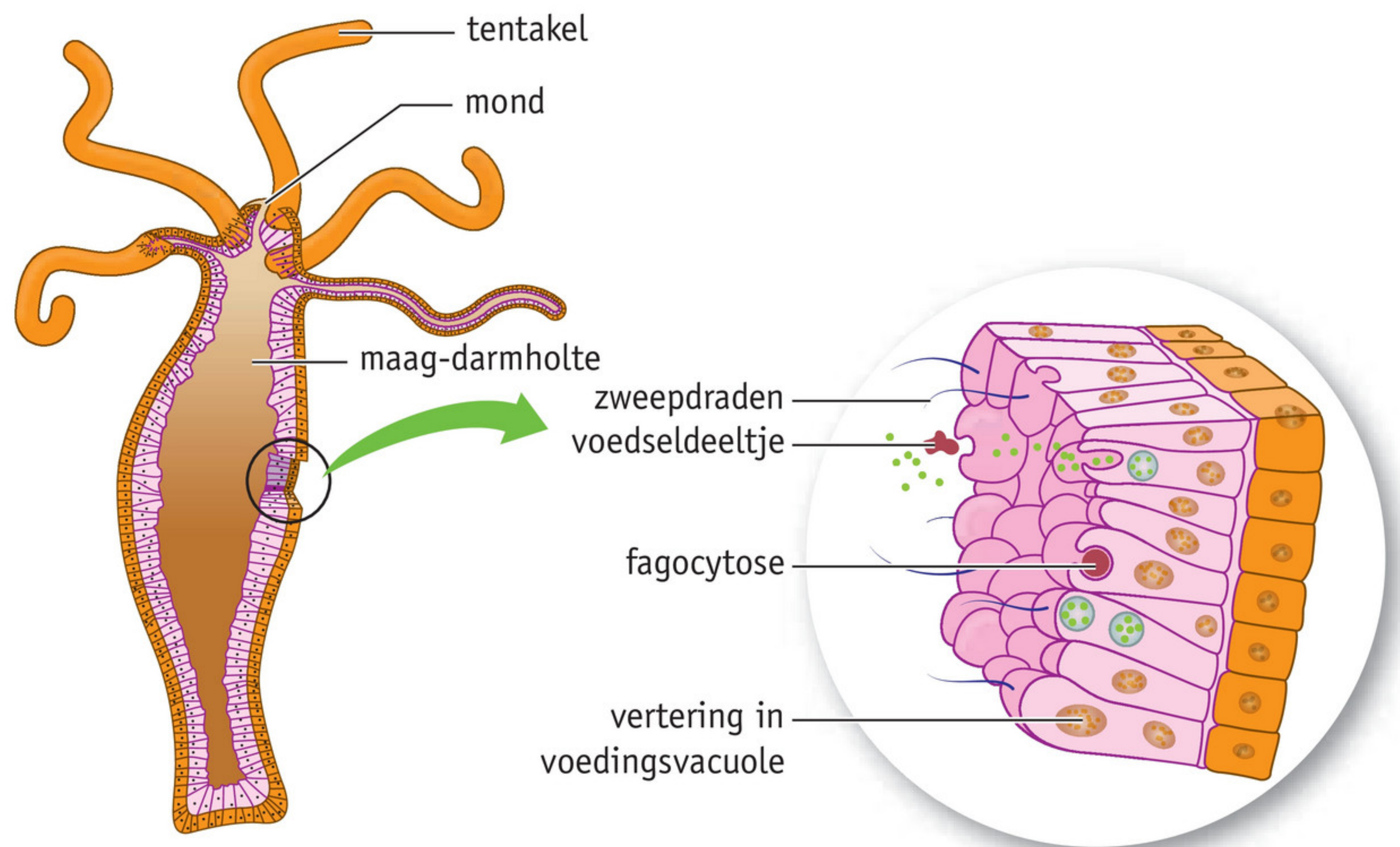
VERTERING BIJ DIEREN

De meeste heterotrofe organismen kunnen vrij bewegen en hebben aanpassingen om voedsel te bemachtigen, op te nemen en te verwerken.

Sommige eencellige organismen nemen voedsel op door **fagocytose**: het instulpen van het celmembraan en het afsnoeren van blaasjes. Bij amoeben en pantoffeldiertjes versmelten deze blaasjes (**voedingsvacuolen**) met lysosomen, waarin zich verteringsenzymen bevinden. De verteringsproducten die dan ontstaan, worden via het membraan van de voedingsvacuole opgenomen in het cytoplasma (celplasma). Bij deze organismen vindt de vertering in de cel plaats. Dit noem je **intracellulaire vertering**.

Eenvoudige meercellige organismen hebben een ingewikkeldere bouw en spijsverteringsstelsel. De vertering vindt meestal plaats in een speciale ruimte in het lichaam: de **maag-darmholte**. Dit is een holte met maar één opening die mond en anus tegelijk is (zie afbeelding 21). Dit noem je **extracellulaire vertering**.

► **Afb. 21** Lengtedoorsnede van een zoetwaterpoliep (hydra).



Complexer gebouwde organismen, zoals rondwormen, hebben een darmkanaal met een mond en een anus. De ingang van het darmkanaal is bij deze dieren een orgaan om voedsel mee te grijpen en naar binnen te werken. Een doorlopend spijsverteringskanaal maakt eenrichtingsverkeer van het voedsel mogelijk. Hierdoor kan het voedsel veel efficiënter worden bewerkt en verwerkt. De vertering vindt extracellulair plaats in het darmkanaal. De cellen van het darmkanaal nemen alleen de bruikbare eindproducten van de vertering op.

Bij veel dieren bestaat het darmkanaal uit gespecialiseerde compartimenten. In elk compartiment worden bepaalde voedingsstoffen verteerd en opgenomen, doordat de omstandigheden daar optimaal zijn voor de bijbehorende verteringsenzymen.

opdrachten

- 14 In de evolutie van vogels is de snavel de vervanger geworden van kaken en tanden. De snavel bestaat uit hoornachtig materiaal en de vorm van de snavel is aangepast aan het voedselpatroon.
 - a Leg uit dat het voor een vogel een voordeel is om een snavel te hebben in plaats van kaken met tanden.
 - b Sommige vogelsoorten slikken steentjes in die terechtkomen in de spiermaag.
Leg uit waarom ze dat doen.
- 15 Een spin spuit gif in zijn prooi om die te verlammen. Het gif heeft ook een sterk verterende werking waardoor de spin de vloeibaar geworden bestanddelen na een tijdje kan opzuigen.
Leg uit dat het maag-darmkanaal van een spin relatief klein en kort is.
- 16 Afbeelding 21 is een tekening van de lengtedoorsnede van een zoetwaterpoliep.
 - a Vindt vertering bij een zoetwaterpoliep intracellulair of extracellulair plaats?
Leg je antwoord uit.
 - b In een darmkanaal met gespecialiseerde compartimenten heeft elk compartiment optimale omstandigheden voor bepaalde verteringsenzymen. Wat is dan het nadeel van het verteren van voedsel in één maag-darmholte?

Overleven op bamboe

▼ **Afb. 22** Onverteerde resten uit poep.



In afbeelding 22 zie je de onverteerde resten uit poep. De reuzenpanda van wie de poep afkomstig is, heeft duidelijk bamboe gegeten. Reuzenpanda's eten dagelijks tot wel een derde van hun gewicht aan bamboe.

Bamboe is een vezelige grassoort. Voor reuzenpanda's zijn de belangrijkste koolhydraten in bamboe cellulose en hemicellulose. Reuzenpanda's verteren ongeveer 8% van de cellulose en 27% van de hemicellulose. Dat is niet bijzonder veel. De meeste planteneters hebben extra magen en lange darmen, zodat de vertering lang kan duren en darmbacteriën meer gelegenheid krijgen de taaie plantenvezels te verteren. Maar een reuzenpanda is eigenlijk een roofdier met het korte en simpele darmstelsel van een vleeseter. Reuzenpanda's hebben niet eens vezelafbrekende bacteriën in hun darmen. Microbiologen die het DNA van darmbacteriën in pandapoep onder de loep namen, zagen de darmflora van een vleeseter. Om toch aan voldoende voedingsstoffen te komen uit de bamboe, eten reuzenpanda's soms wel veertien uur per dag.

opdracht

- 17 **a** Omdat reuzenpanda's in relatief koude gebieden leven waar het vaak sneeuwt, is een tekort aan voedsel al snel fataal. Leg dat uit.
- b** Een volwassen reuzenpanda weegt gemiddeld 120 kg en kan wel honderd drollen per dag produceren. Bamboe bestaat uit 50% cellulose, 20% hemicellulose, 23% lignine en 7% overige stoffen. Lignine is niet verteerbaar.
Bereken hoeveel onverteerde bamboe een reuzenpanda met een gemiddeld gewicht uitscheidt via zijn ontlasting als hij een derde van zijn gewicht aan bamboe eet.
- c** Leptine is een verzadigingshormoon dat aan de hersenen het signaal geeft dat je voldoende hebt gegeten. Het verzadigingsgen is bij panda's verminderd actief. Hierdoor wordt er minder leptine geproduceerd. Leg uit dat dit het voor reuzenpanda's gemakkelijker maakt om te overleven op een bamboedieet.
- d** Reuzenpanda's zijn bijzonder sloom. Aanvankelijk dachten wetenschappers dat de stofwisseling van reuzenpanda's zo laag is, omdat hun bamboedieet weinig energie levert. Uit DNA-onderzoek bleek dat er sprake is van een mutatie in het DUOX2-gen. Hierdoor is de schildklierhormoonspiegel bij de reuzenpanda erg laag.
Leg uit dat dit het voor reuzenpanda's gemakkelijker maakt om te overleven op een bamboedieet.

Leerdoel

- Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden verteerd in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

3

Chemische vertering

Je kunt je verteringsstelsel beschouwen als een sloopbedrijf. Het voedsel dat je binnenkrijgt, wordt tot steeds kleinere en eenvoudigere brokstukken geknipt, zodat je darmen die uiteindelijk kunnen opnemen.

HET VERTERINGSPROCES

Niet alle voedingsstoffen in je voedsel hoeven te worden afgebroken. Monosachariden, water, mineralen en vitaminen kunnen zonder vertering in het bloed worden opgenomen. Eiwitten, disachariden, polysachariden en vetten moeten eerst worden verteerd. Door vertering worden eiwitmoleculen afgebroken tot afzonderlijke aminozuurmoleculen. Moleculen van polysachariden en disachariden worden gesplitst tot monosachariden. Vetmoleculen worden verteerd tot afzonderlijke glycerolmoleculen en vetzuurmoleculen. De afbraak van voedingsstoffen tot losse bouwstenen gebeurt met behulp van verschillende **verteringsenzymen** voor koolhydraten, eiwitten en vetten. De werking van enzymen wordt beïnvloed door de pH en de temperatuur. Voor alle verteringsenzymen is de lichaamstemperatuur (37 °C) de optimale temperatuur. Het pH-optimum verschilt per enzym.

SPEEKSEL EN MAAGSAP

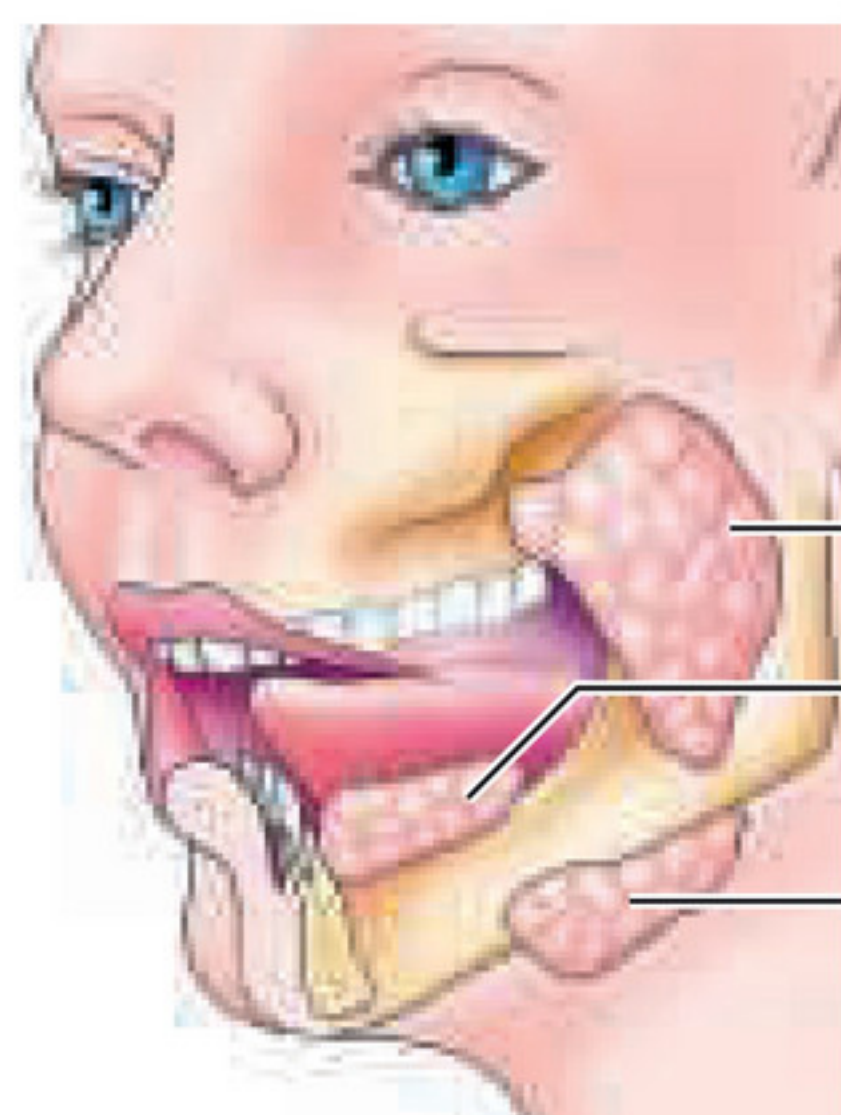
De vertering begint in je mond. Drie paar speekselklieren produceren één tot anderhalve liter speeksel per etmaal (zie afbeelding 23). Het autonome zenuwstelsel regelt de speekselafgifte. Prikkeling van je zintuigen doordat je voedsel ziet of ruikt, kan leiden tot verhoogde speekselproductie. Je gaat dan 'watertanden'.

Speeksel bevat het enzym **amylase**, dat een deel van het zetmeel in het voedsel afbreekt tot **maltose** (een disacharide). Amylase is werkzaam bij een pH van ongeveer 6 tot 7,5. Het pH-optimum is 6,6. Als voedsel in de maag komt, dringt het zure maagsap geleidelijk in de voedselbrij door. Daardoor daalt de pH van de voedselbrij langzaam. Het gevolg hiervan is dat de amylase die met de voedselbrij mee in de maag is terechtgekomen, na enige tijd onwerkzaam wordt.

Klieren in de maagwand produceren de bestanddelen van maagsap (zie afbeelding 24). Een maagsapklier bestaat uit verschillende typen cellen. Eén type kliercellen produceert H⁺-ionen en Cl⁻-ionen, andere cellen produceren slijm en weer andere pepsinogeen. **Pepsinogeen** is een inactief pro-enzym. Na afscheiding in de maag vormen H⁺-ionen en Cl⁻-ionen zoutzuur (HCl opgelost in water). Onder invloed van zoutzuur wordt het inactieve pepsinogeen geactiveerd tot het enzym **pepsine**. Pepsine activeert zelf ook pepsinogeen. Hierdoor is het activeren van pepsinogeen een proces dat zichzelf versterkt. Dit is een voorbeeld van positieve terugkoppeling.

Onder invloed van het enzym pepsine worden eiwitmoleculen gesplitst. De verteringsproducten zijn enkele nog vrij lange aminozuurketens: polypeptiden. Pepsine is alleen werkzaam in een sterk zuur milieu. Het pH-optimum is 2,5.

▼ **Afb. 23** De ligging van de speekselklieren.

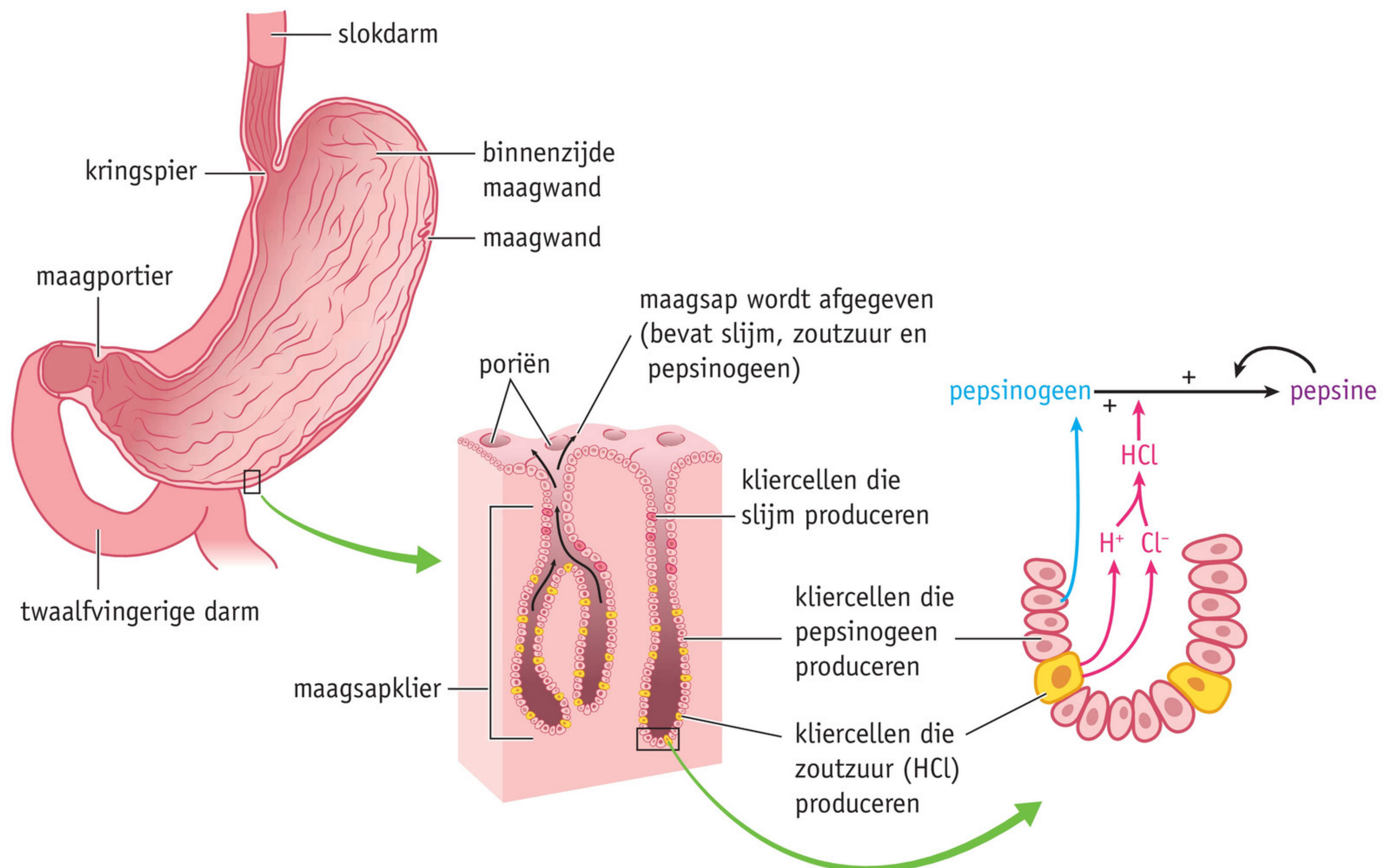


oorspeekselklier

ondertong-
speekselklier

onderkaak-
speekselklier

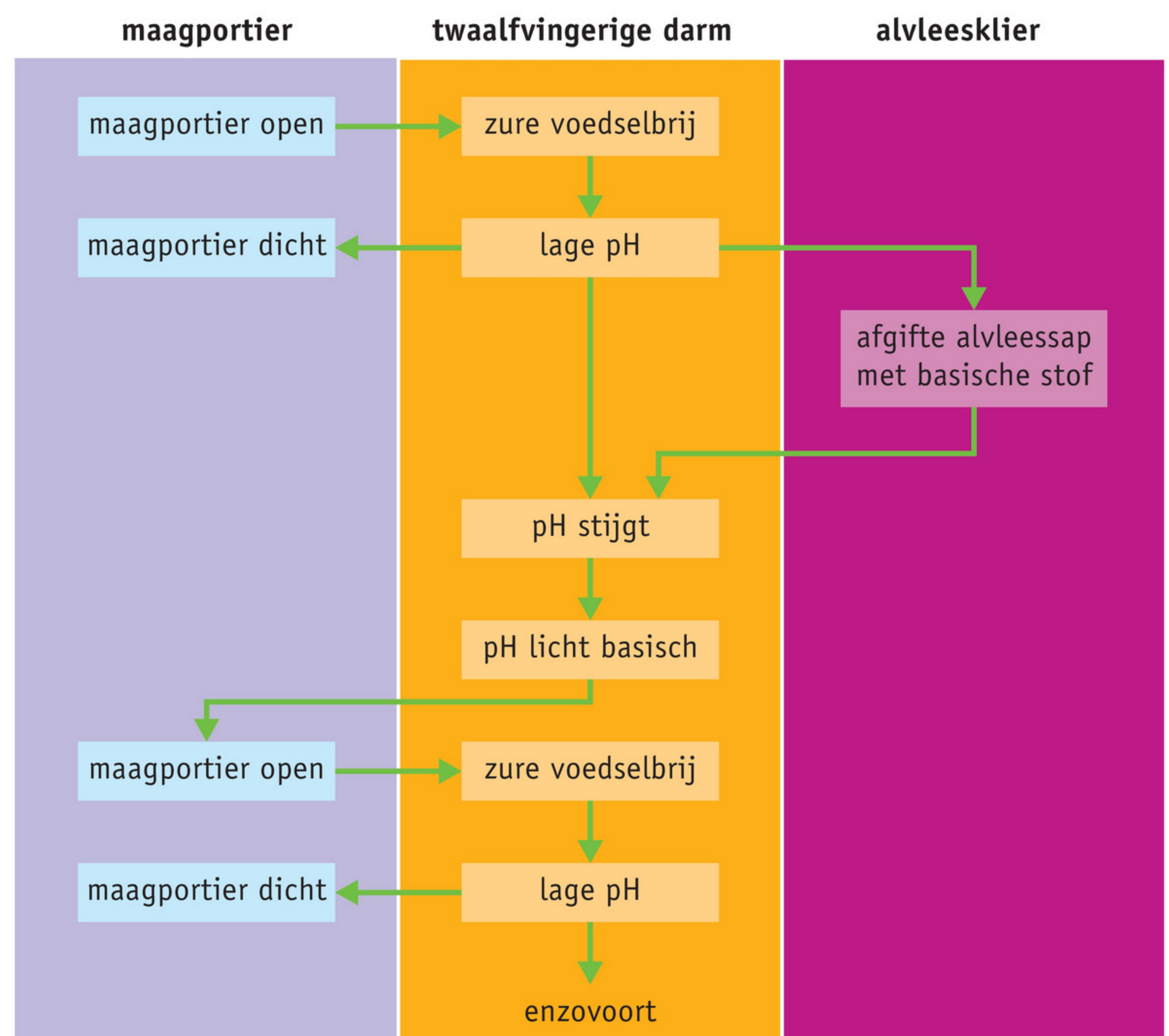
▼ **Afb. 24** De maag en de productie van maagsap (schematisch).



ALVLEESSAP

Het openen en sluiten van de maagportier is afhankelijk van de pH in de twaalfvingerige darm (zie afbeelding 25). Als een kleine hoeveelheid zure voedselbrij uit de maag in de twaalfvingerige darm komt, wordt de pH in de twaalfvingerige darm laag.

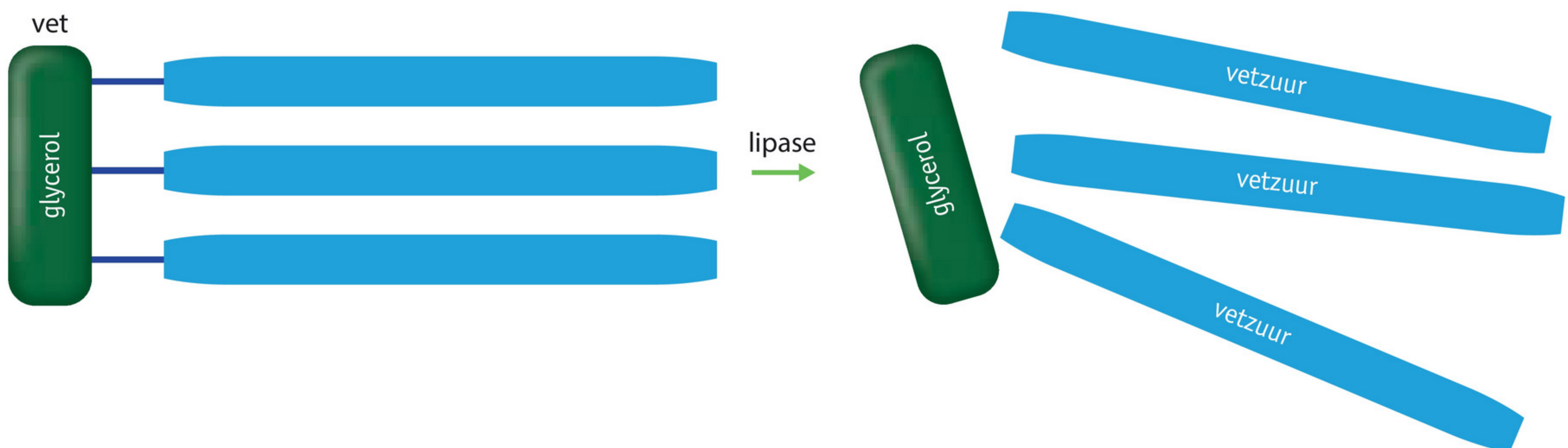
► **Afb. 25** Regelmechanismen onder invloed van de pH in de twaalfvingerige darm.



Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier zich samentrekt. De maagportier wordt daardoor gesloten. Alvleessap uit de alvleesklier bevat een basische stof, waardoor de pH in de twaalfvingerige darm weer stijgt. De voedselbrij in de twaalfvingerige darm wordt licht basisch (pH 8 à 9). Het gevolg is dat de kringspier van de maagportier zich ontspant. Er wordt dan weer een nieuwe hoeveelheid zure voedselbrij toegelaten tot de twaalfvingerige darm.

Alvleessap bevat onder andere de enzymen amylase, trypsine, peptidasen en lipase. Amylase uit de alvleesklier zorgt voor verdere afbraak van zetmeel tot maltose. **Trypsine** splitst moleculen van lange polypeptiden tot korte polypeptiden. **Peptidasen** breken deze verteringsproducten verder af tot **dipeptiden** en **tripeptiden** (peptiden met twee of drie aminozuren). **Lipase** splitst vetmoleculen tot één glycerolmolecuul en drie vetzuurmoleculen (zie afbeelding 26).

▼ **Afb. 26** De vertering van een vetmolecuul onder invloed van lipase (schematisch).



De meeste enzymen in alvleessap hebben een pH-optimum van ongeveer 8. De alvleesklier geeft alvleessap af als de pH in de twaalfvingerige darm laag is, dus als er voedsel vanuit de maag in de twaalfvingerige darm is gekomen (zie afbeelding 25). De galblaas geeft dan gal af. Door de basische stof in alvleessap kunnen de enzymen uit de alvleesklier in de twaalfvingerige darm werkzaam zijn. De gal zorgt ervoor dat lipase goed kan inwerken op vetten.

DARMSAP

Door de vertering van vetten komen er steeds meer vetzuren vrij in de twaalfvingerige darm. Hierdoor daalt de pH van de voedselbrij langzaam. Als de voedselbrij in de dunne darm aankomt, is de pH ongeveer 7.

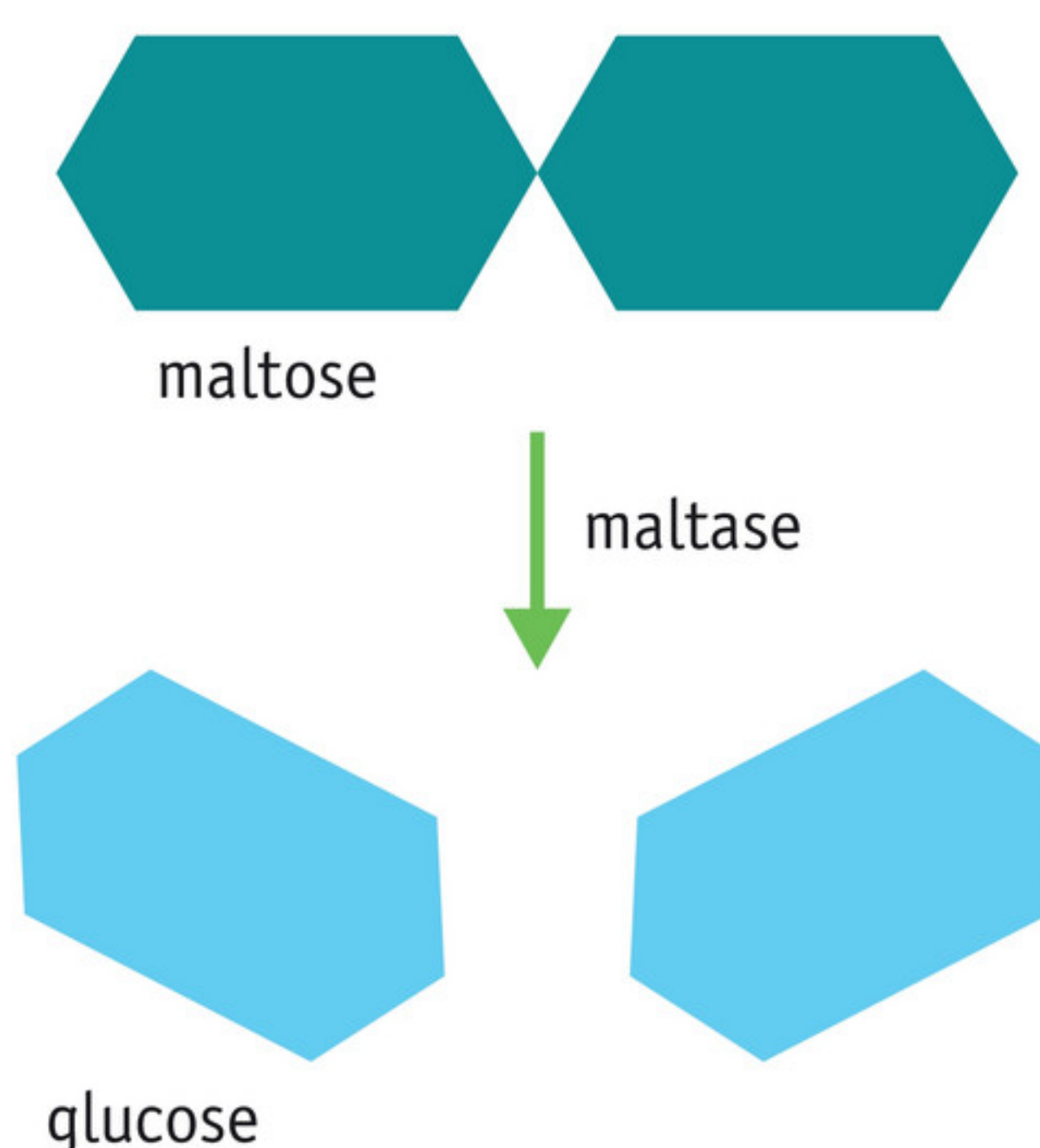
In de dunne darm wordt de vertering van voedingsstoffen voltooid. Darmsap bevat onder andere de enzymen maltase, sacharase, lactase en peptidasen. **Maltase** splitst een maltosemolecuul in twee glucosemoleculen (zie afbeelding 27).

Hiermee is de vertering van zetmeel voltooid. In afbeelding 28 is de vertering van zetmeel vanaf de mondholte tot aan de dunne darm schematisch weergegeven.

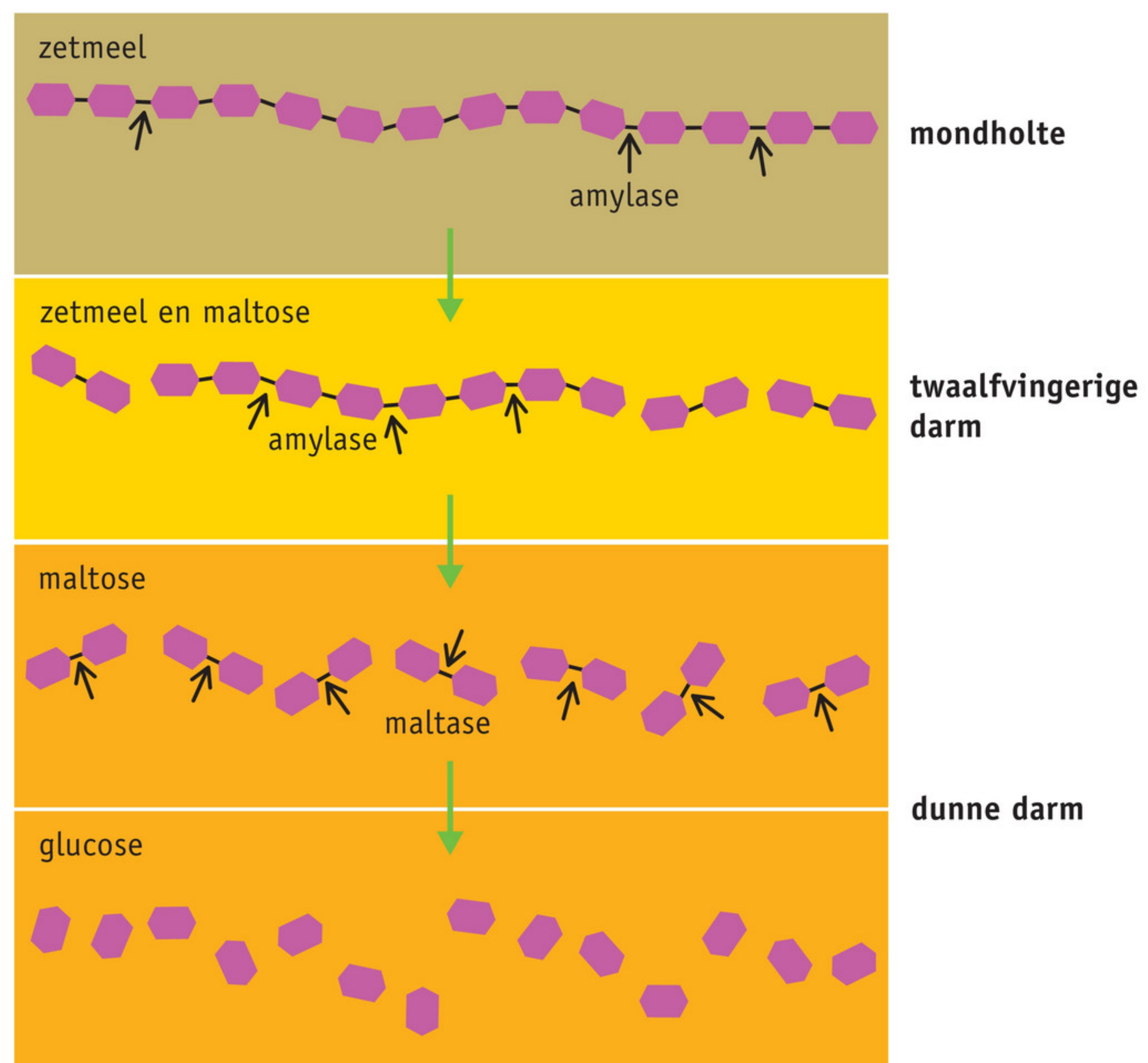
Sacharase verteert sacharose (riet- of bietsuiker) en **lactase** verteert lactose (melksuiker).

In afbeelding 29 is de vertering van een eiwit vanaf de maag tot aan de dunne darm schematisch weergegeven. Peptidasen in het darmsap breken de di- en tripeptiden af tot aminozuren. Hiermee is de vertering van eiwitten voltooid.

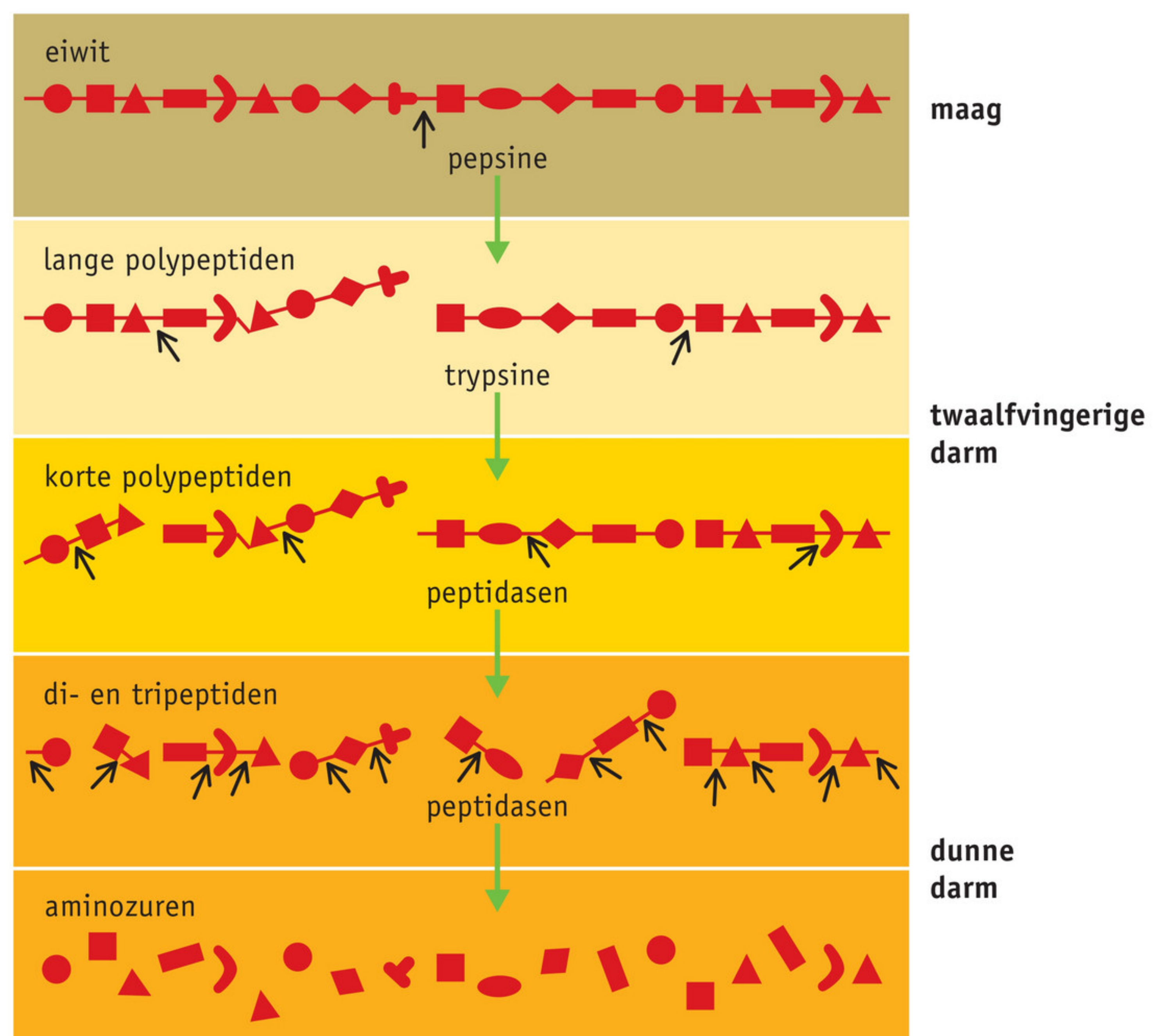
▼ **Afb. 27** De vertering van een maltosemolecuul onder invloed van maltase (schematisch).



► **Afb. 28** De vertering van zetmeel (schematisch).



► **Afb. 29** De vertering van een eiwit (schematisch).

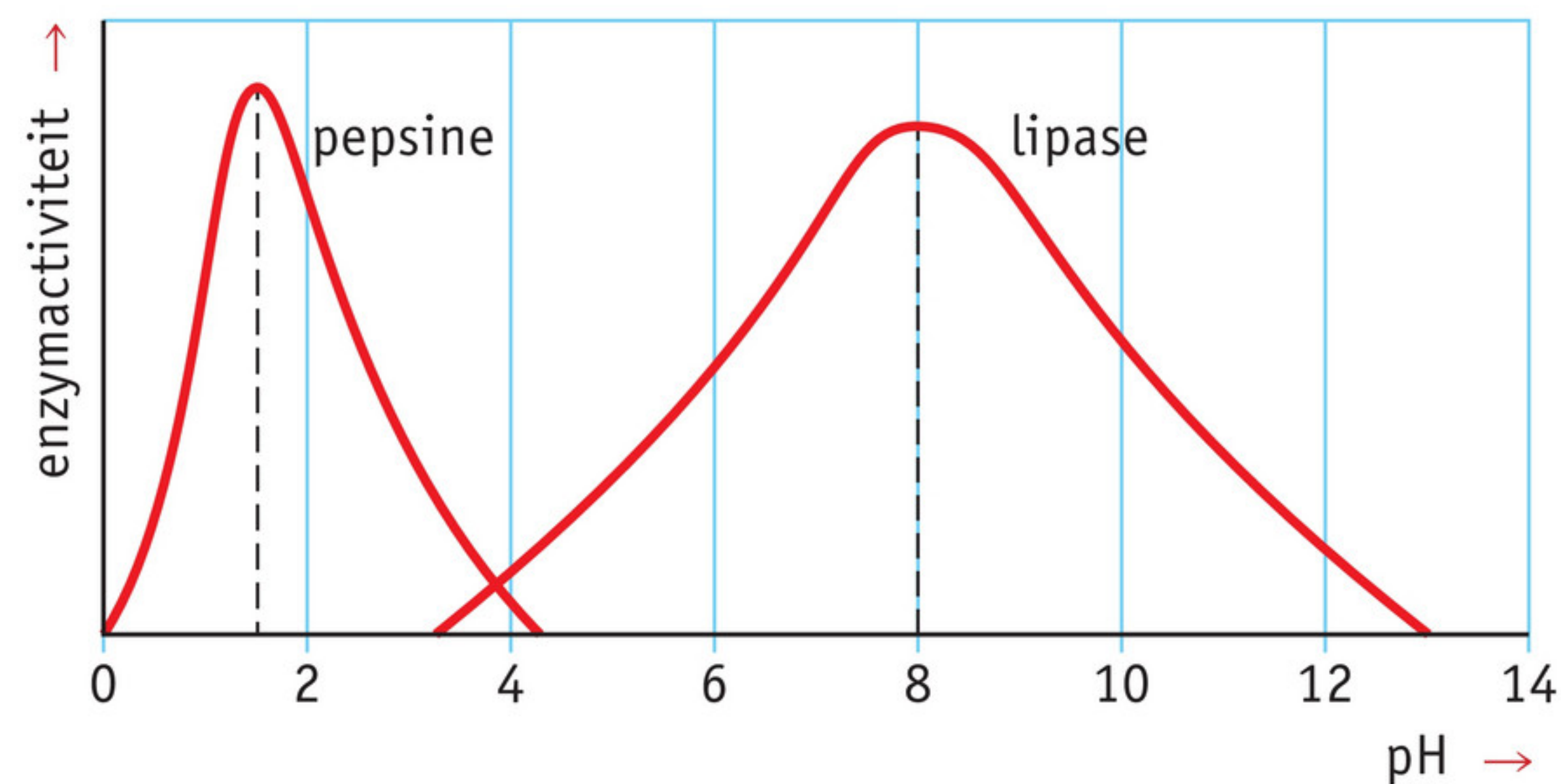


opdrachten

- 18 a** Welke twee functies heeft het zoutzuur in maagsap?
- b** De maagportier opent zich als de voedselbrij in de twalfvingerige darm licht basisch is geworden.
 Waardoor wordt de voedselbrij in de twalfvingerige darm licht basisch?
- c** In de twalfvingerige darm stijgt de pH van de voedselbrij.
 Welke stoffen veroorzaken in de dunne darm weer een lichte daling van de pH?

- 19 a Kan in de slokdarm vertering plaatsvinden? Leg je antwoord uit.
 b Pepsine kan met de voedselbrij mee vanuit de maag via de twaalfvingerige darm in de dunne darm terechtkomen.
 Is de pepsine dan nog werkzaam? Leg je antwoord uit.
 c De werking van de amylase uit speeksel stopt na enige tijd in de maag, doordat de pH van de voedselbrij te laag is geworden. Maar ook pepsine zorgt ervoor dat amylase na enige tijd niet meer werkt. Leg dat uit.
 d Maagsapklieren scheiden H^+ -ionen, Cl^- -ionen en pepsinogeen af.
 Leg uit waarom de maagsapklieren geen zoutzuur en pepsine kunnen afscheiden.
- 20 In afbeelding 30 is het verband tussen de pH en de activiteit van pepsine en lipase in een diagram weergegeven.
- a Wat is de minimum-pH van pepsine?
 b Wat is de maximum-pH van lipase?
 c Is er een pH waarbij pepsine en lipase beide werkzaam zijn? Zo ja, welke?
 d Welk van beide enzymen is het gevoeligst voor veranderingen in de pH? Leg je antwoord uit.

► **Afb. 30** Het verband tussen de pH en de activiteit van pepsine en lipase.



- 21 Bij het grootste deel van de wereldbevolking neemt na het derde levensjaar de productie van lactase in de dunne darm af. Lactose in melkproducten kan dan niet meer worden verteerd. In de dikke darm breken bacteriën van de darmflora de lactose af, waardoor klachten kunnen ontstaan als buikpijn, krampen, diarree, winderigheid en een opgeblazen gevoel. Dit noem je lactose-intolerantie.
 Zure melkproducten (karnemelk, kwark, yoghurt) bevatten bacteriën die lactase produceren.
- a Leg uit waardoor mensen met lactose-intolerantie zure melkproducten vaak beter verdragen.
 b Als je wilt weten of je lactose-intolerant bent, kun je dat laten onderzoeken. Je moet dan eerst een bepaalde hoeveelheid lactose innemen. Vervolgens wordt je bloedsuikerspiegel na een bepaalde tijd gemeten. Wanneer je bloedsuikerspiegel niet is gestegen, ben je waarschijnlijk lactose-intolerant. Leg dat uit.
- 22 a In tegenstelling tot de meeste insecten kan een huisvlieg (*Musca domestica*) geen voedsel verkleinen met kaken. Hij zuigt vloeibaar voedsel op met een slurfachtige zuigsnuit. Op vast voedsel brengt een huisvlieg eerst meerdere keren speeksel aan.
 Leg uit waarom de huisvlieg dit doet.
 b Zeesterren hebben een maag met klieren. Ze kunnen hun maag uitstulpen en daarmee via een kiertje tussen de kleppen een mossel binnendringen. Wat moet er vervolgens gebeuren om de voedingsstoffen van de mossel op te kunnen nemen?

CONTEXT

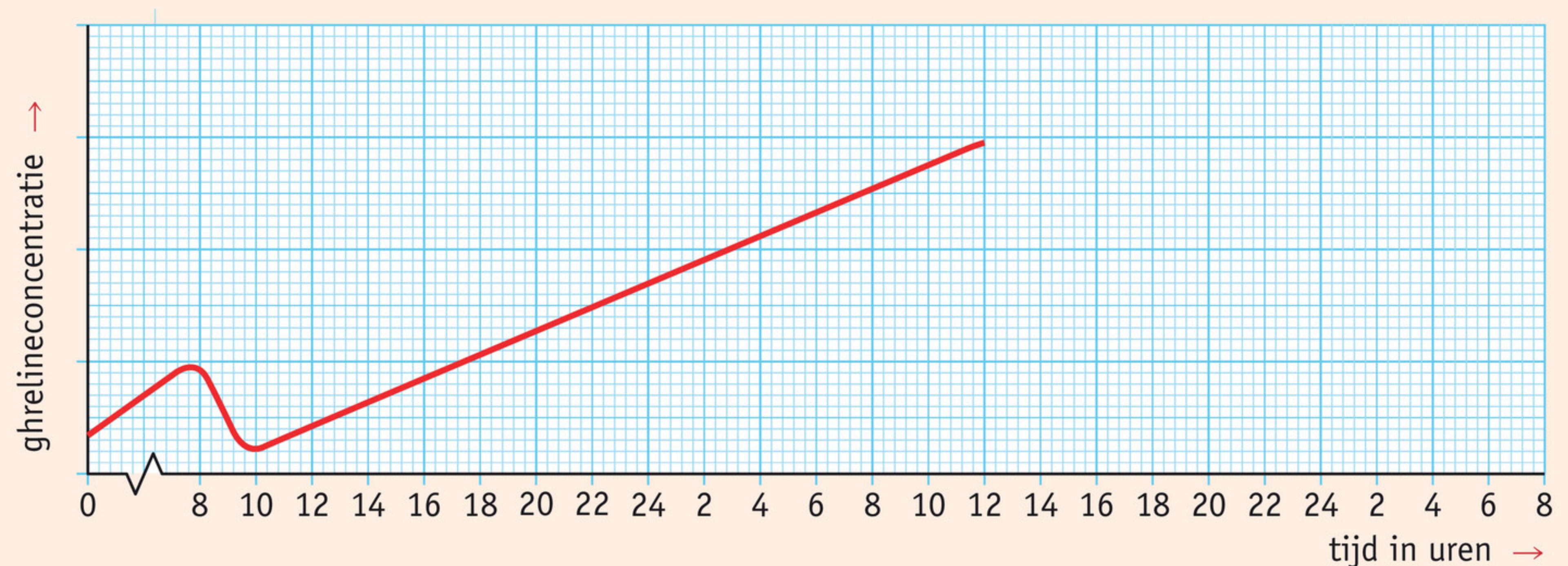
Leefwereld

Honger maakt impulsief

Neem nooit een belangrijke beslissing als je honger hebt. Het hongerhormoon ghreline heeft namelijk een negatief effect op je besluitvorming en je impulscontrole. Ghreline is het enige bekende hormoon in het verteringsstelsel dat de eetlust opwekt en daardoor de voedselinname bevordert. Het wordt vooral afgescheiden door cellen in de maagwand. De concentratie ghreline neemt 's nachts en voor een maaltijd toe en na een maaltijd af. Wanneer ghreline bindt aan ghrelinereceptoren, versturen die signalen naar de hypothalamus. De hypothalamus zorgt voor het hongergevoel en bereidt het lichaam voor op het voedsel dat komen gaat. Dat merk je aan een verhoogde speekselafscheiding en een toename van de darmperistaltiek.

Ghreline blijkt ook invloed te hebben op andere delen van de hersenen. Bij een verhoogde concentratie ghreline is het daardoor lastig om een behoefte uit te stellen of een reactie te onderdrukken. Je gaat dan sneller over tot een impulsieve keuze of een impulsieve actie.

► **Afb. 31** Het verloop van de ghrelineconcentratie.



opdracht

- 23 a** Zal de ghrelinesecretie na een maagverkleining dalen of stijgen? Leg je antwoord uit.
- b** Het eten van gemberwortel blijkt de eetlust te vergroten. Welke invloed heeft het eten van gemberwortel op de ghrelineproductie? Leg je antwoord uit.
- c** Uit onderzoek is gebleken dat je beter geen boodschappen kunt doen als je honger hebt. Je koopt dan niet alleen meer eten, maar ook niet-eetbare producten belanden gemakkelijker in je mandje. Leg uit hoe dat komt.
- d** In afbeelding 31 is een grafiek getekend waarin wordt aangegeven hoe de ghrelineconcentratie verandert als iemand 27 uur lang niet eet. Wanneer heeft deze persoon voor het laatst gegeten?
- e** Neem de grafiek over en geef het verdere verloop van de ghrelineconcentratie weer, als de proefpersoon met de lunch van dag 2 (13.00 uur) weer normaal gaat eten, om 18.00 uur zijn avondeten gebruikt en op dag 3 weer normaal ontbijt.
- f** Een stof in cannabis kan bij een cannabisgebruiker een intens hongergevoel (vreetkick) veroorzaken. Ook wanneer die een gevulde maag heeft. Leg uit hoe dat mogelijk is.



Leerdoel

- Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

4 Resorptie

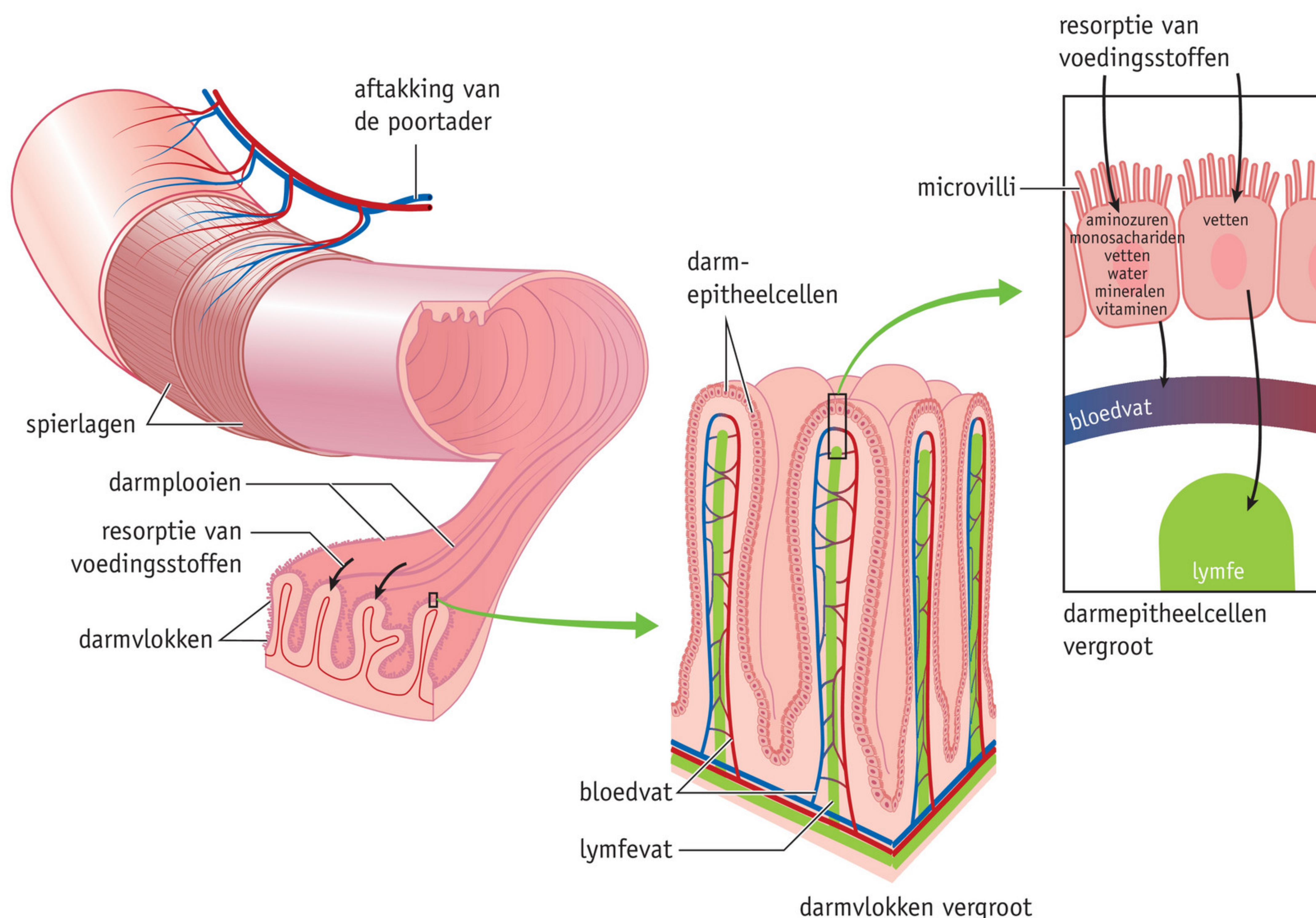
Een maaltijd doet er 24 tot 30 uur over om vanuit je mond je anus te bereiken. Vloeibaar voedsel passeert het darmkanaal sneller dan vast voedsel. De voedselbrij verblijft het langst in de dikke darm en endeldarm.

DE DUNNE DARM

Na de twaalfvingerige darm komt de voedselbrij in de **dunne darm**. Hier worden de voedingsstoffen opgenomen in het bloed. Opname van voedingsstoffen vindt ook plaats in andere delen van het verteringsstelsel. De opname van alcohol begint bijvoorbeeld al in de mond en in de maag. De opname van de meeste voedingsstoffen vindt echter plaats in de dunne darm.

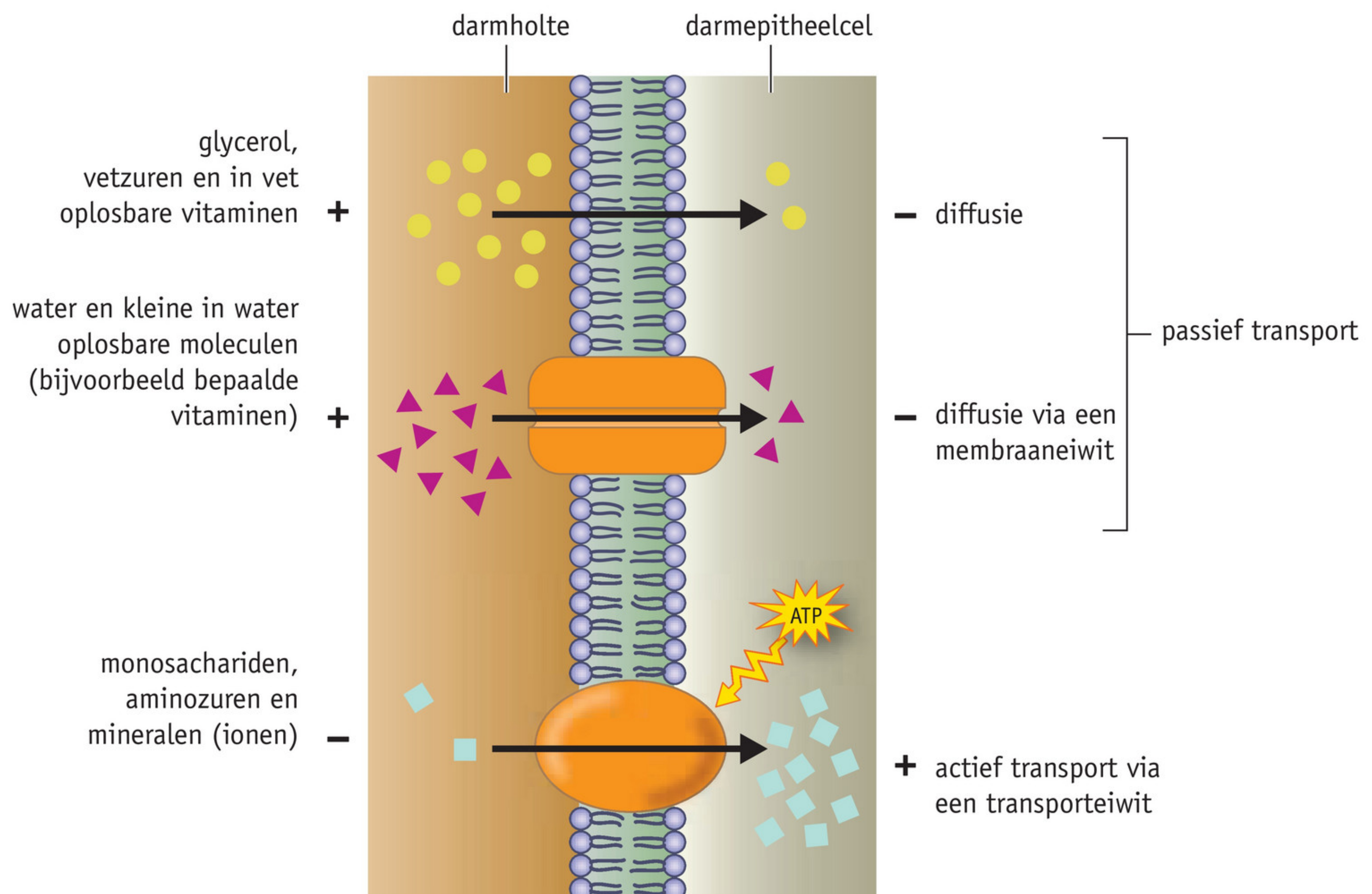
De dunne darm van een volwassen persoon is ongeveer zes meter lang. De wand is sterk geplooid (zie afbeelding 32). Op de **darmplooiën** bevinden zich uitstulpingen: de **darmvlokken**. De buitenste laag cellen van de darmvlokken is het **darmepitheel** (darmdekweefsel). De cellen van het darmepitheel hebben een groot aantal microscopisch kleine uitstulpingen: de **microvilli** (zie afbeelding 32). Door de darmplooiën, de darmvlokken en de microvilli is het oppervlak voor de opname van stoffen zeer groot.

▼ **Afb. 32** De bouw van de dunne darm (schematisch).



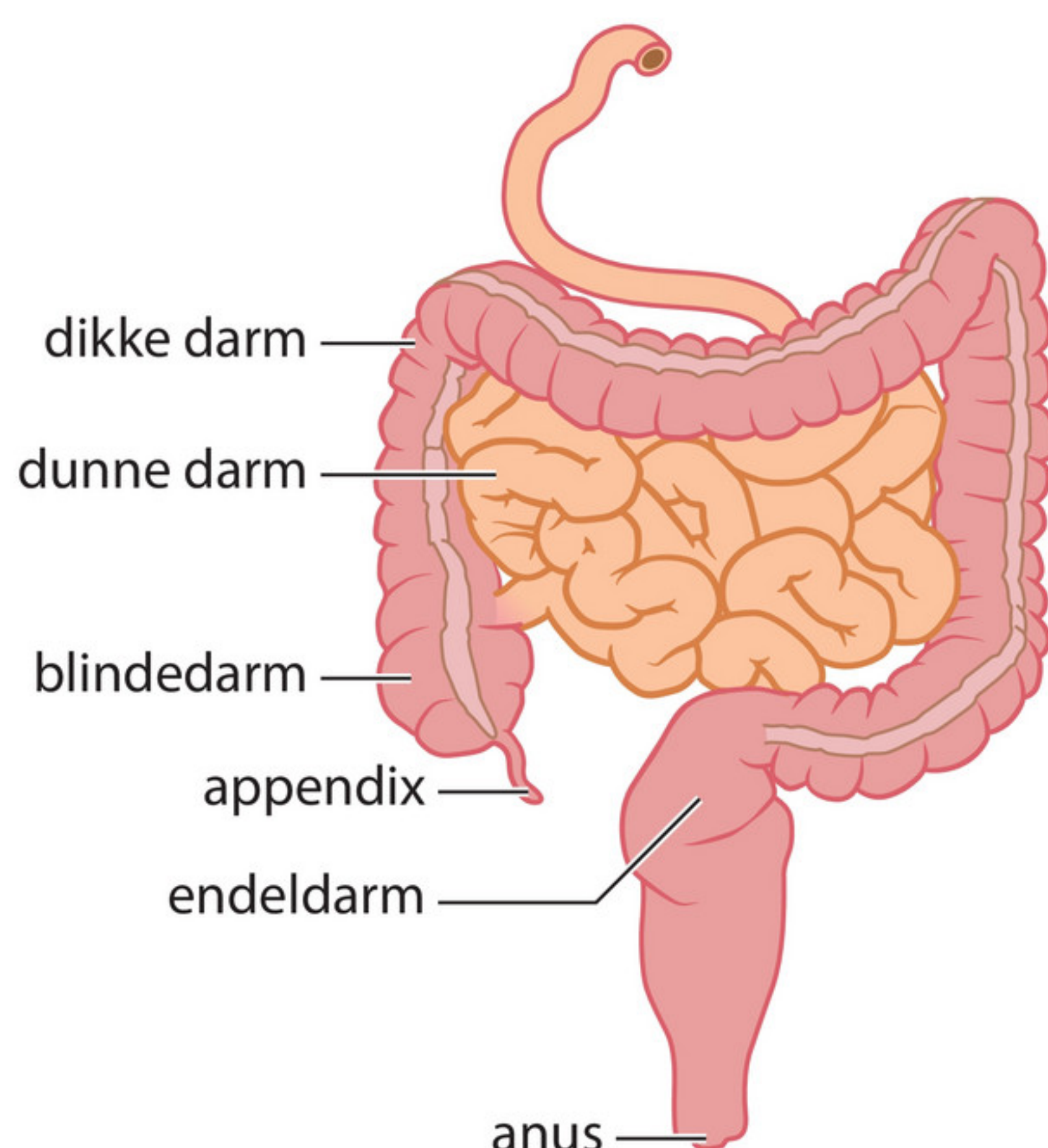
De cellen van het darmepitheel nemen water, voedingsstoffen en verteringsproducten op uit de voedselbrij. Dat gebeurt door diffusie via de fosfolipiden, porie-eiwitten of transporteiwitten in het celmembraan en door **actief transport** (zie afbeelding 33). Bij actief transport nemen darmepitheelcellen stoffen op

▼ **Afb. 33** De opname van voedingsstoffen in darmepitheel.



tegen het concentratieverval in. Stoffen gaan dan via transporteiwitten in het membraan van een lage concentratie in de darmholte naar een hoge concentratie in de darmepitheelcellen. De energie die nodig is voor actief transport, komt uit de omzetting van ATP. Er vindt ook selectie van stoffen plaats. Het darmepitheel neemt van sommige stoffen veel moleculen op en van andere weinig.

▼ **Afb. 34** De ligging van dunne darm, blindedarm met appendix, dikke darm en endeldarm met anus (schematisch).



Darmvlokken bevatten bloedvaten en lymfevaten. De opname van stoffen via de darmwand in het bloed en de lymfe noem je **resorptie** (Latijn: resorbere = opzuigen). Voor resorptie is energie nodig. In de cellen van het darmepitheel vindt daardoor intensieve dissimilatie plaats.

De meeste stoffen worden opgenomen in het bloed. De haarvaten van een groot deel van het darmkanaal (van de maag tot en met de dikke darm) verenigen zich tot één afvoerend bloedvat: de **poortader**. Hierdoor stroomt bloed naar de lever. In de cellen van het darmepitheel worden uit glycerol en vetzuren weer vetten gevormd, die vooral worden opgenomen in de lymfe.

DE DIKKE DARM EN DE ENDELDARM

De onverteerde voedselresten komen terecht in de **dikke darm**. De dikke darm is ongeveer anderhalve meter lang. In de dikke darm wordt veel van het nog resterende water uit de brij van onverteerde voedselresten geresorbeerd. Dat is nodig, omdat je anders te veel vocht verliest en uitdroogt. Ook mineralen worden in de dikke darm geresorbeerd.

Vlak onder de overgang van dunne darm naar dikke darm ligt de **blindedarm** (zie afbeelding 34). Aan de onderkant van de blindedarm zit een uitstulping: de **appendix** (het wormvormig aanhangsel). Bij 'blindedarmontsteking' is niet de blindedarm ontstoken, maar de appendix. Deze wordt dan operatief verwijderd. De blindedarm blijft zitten.

In de dikke darm leven veel darmbacteriën (de **darmflora**). Sommige darmbacteriën produceren enzymen voor de vertering van stoffen die niet door de verteringsenzymen van de mens worden verteerd (voedingsvezels). Bijvoorbeeld

een enzym voor de vertering van cellulose uit de celwanden van plantaardig voedsel. Andere soorten darmbacteriën produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, zoals vitaminen. Een voorbeeld daarvan is vitamine K.

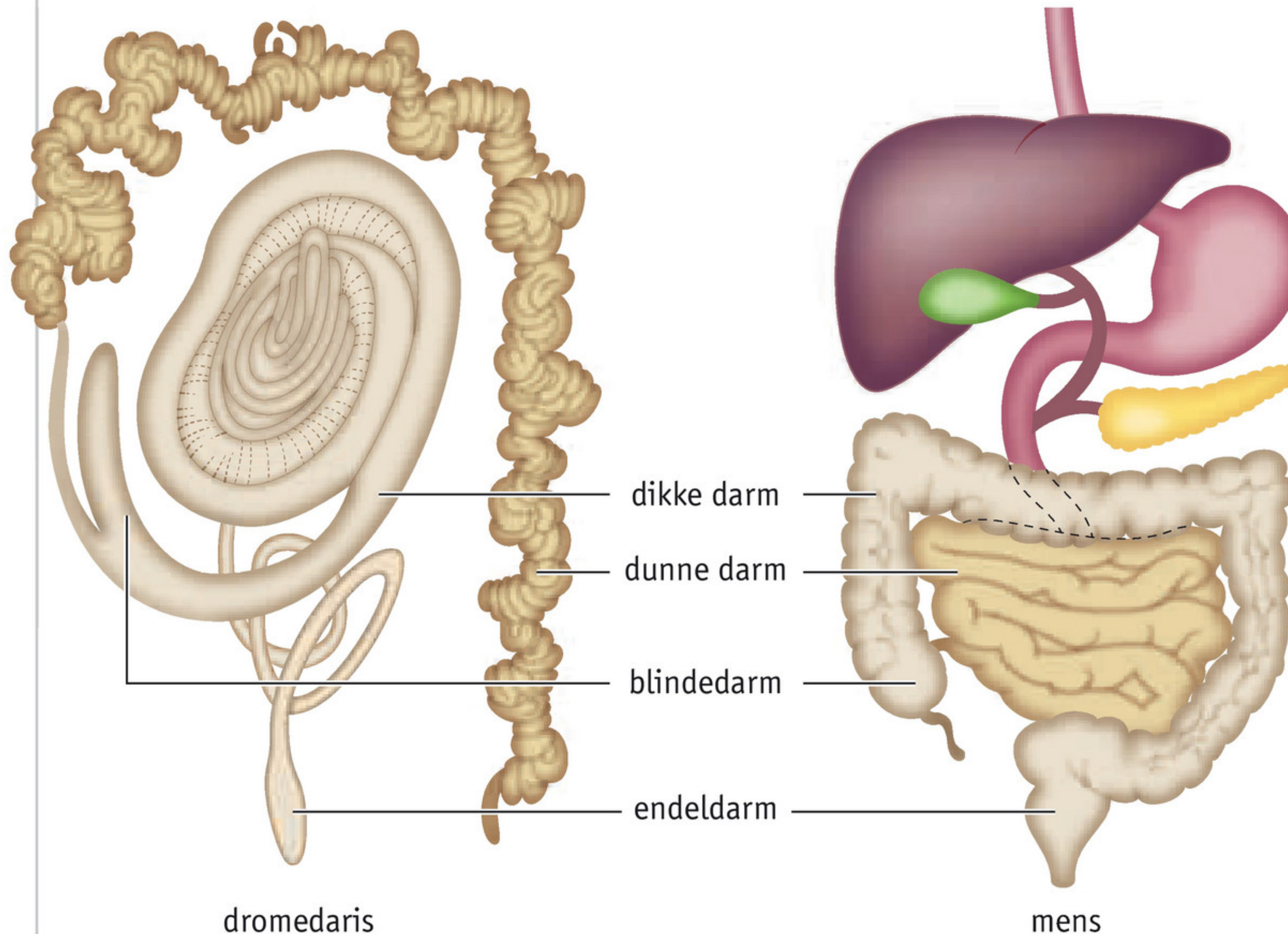
De onverteerde voedselresten worden in de **endeldarm** verzameld. Ook in de endeldarm vindt nog resorptie van stoffen plaats. Hiervan wordt gebruikgemaakt bij het toedienen van medicijnen in zetpillen. Het bloed uit de haarvaten van de endeldarm komt namelijk niet in de poortader terecht en stroomt dus niet rechtstreeks naar de lever.

De endeldarm wordt afgesloten door een kringspier: de **anus**. De **ontlasting (feces)** bestaat uit onverteerde voedselresten, water en zeer veel bacteriën.

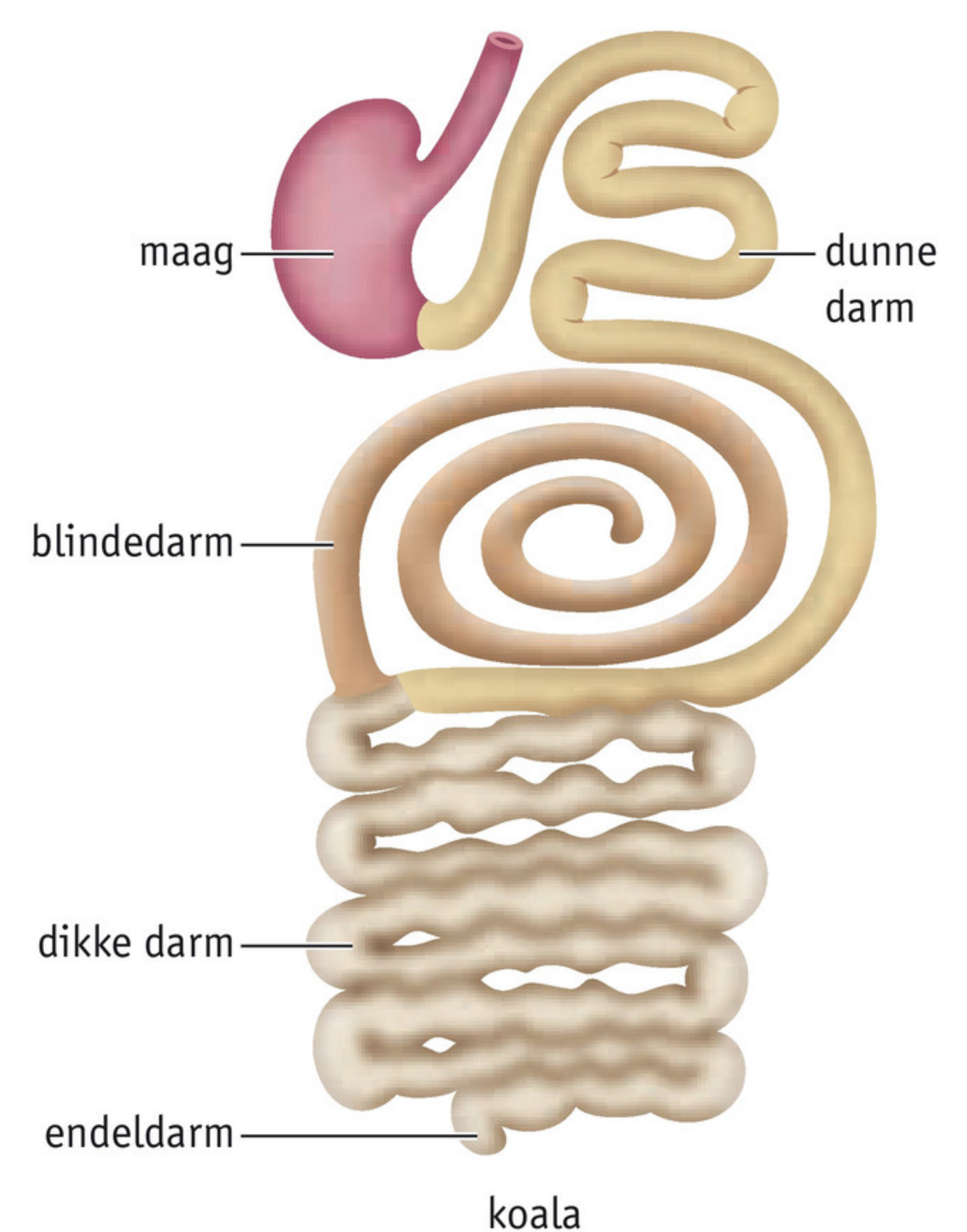
opdrachten

- 24 Bij het toedienen van sommige medicijnen in pillen is het belangrijk dat deze medicijnen niet direct in de lever terechtkomen.
- Leg uit dat toediening in de vorm van zetpillen dan een goede oplossing is.
 - Via dood darmepitheel vindt geen resorptie plaats. Wat kun je hieruit afleiden?
 - Welke cellen bevatten de meeste mitochondriën: epitheelcellen van de slokdarm of epitheelcellen van de dunne darm? Leg je antwoord uit.
 - Opname van alcohol vindt plaats in een groot deel van het darmkanaal. Waardoor is de opname in de dunne darm het grootst?
- 25 a Wat is er aan de hand bij iemand die diarree heeft?
b Sterke, aanhoudende diarree kan levensbedreigend zijn. Leg dat uit.
- 26 In de celwanden van plantaardige cellen komt onder andere cellulose voor. Mensen maken voor deze polysacharide geen verteringsenzymen aan. Hierdoor is de celinhoud van plantaardige cellen niet bereikbaar voor verteringsenzymen.

▼ **Afb. 35** Verteringsstelsel van een dromedaris en de mens.



▼ **Afb. 36** Verteringsstelsel van een koala.



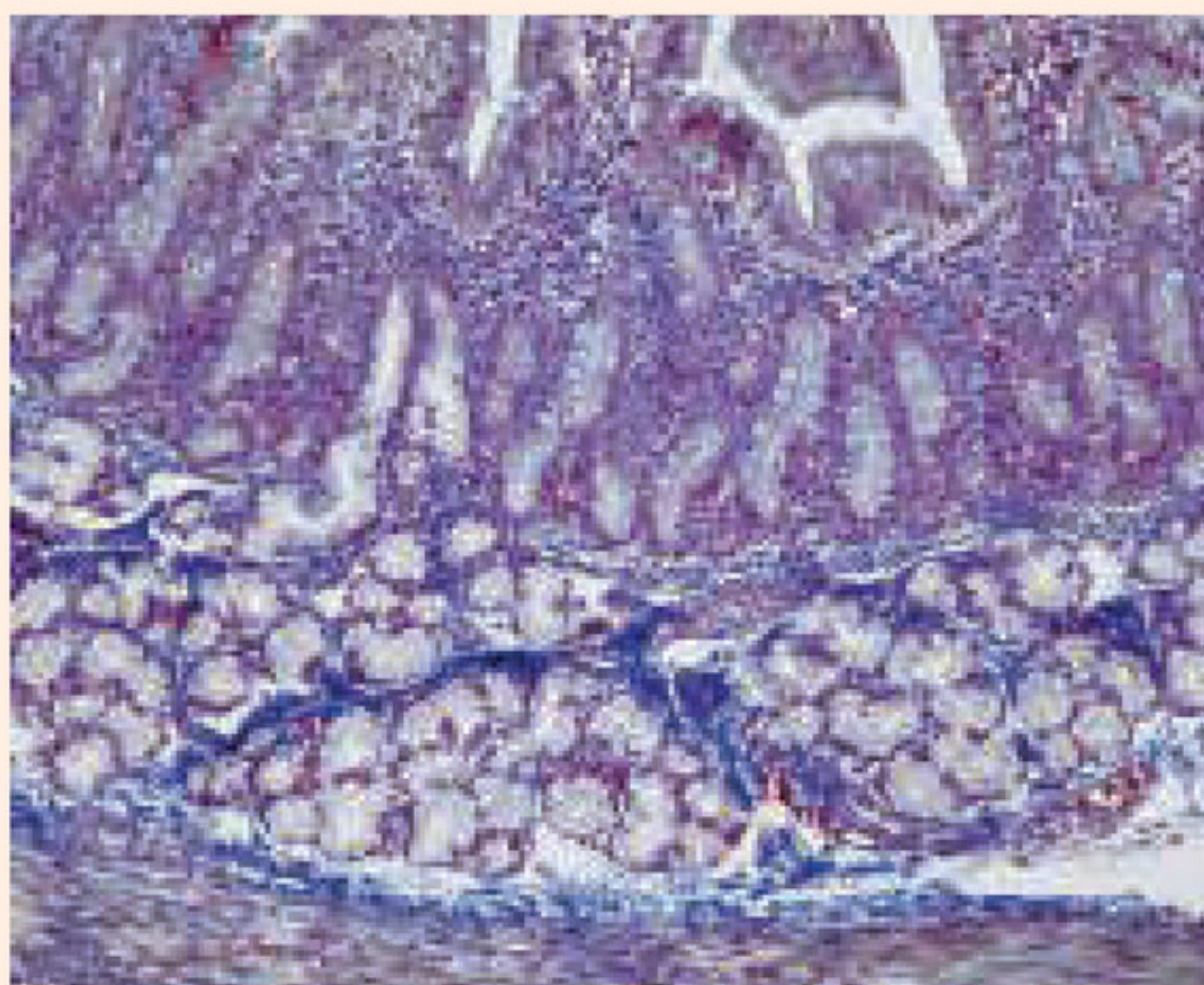
- a Leg uit dat je plantaardig voedsel beter verteerbaar maakt als je het kookt.
 - b Bij zoogdieren zijn op grond van de voedselkeuze onder andere herbivoren (planteneters) en carnivoren (vleeseters) te onderscheiden. Herbivoren leven voor hun spijsvertering samen met cellulasevormende micro-organismen. Desondanks gaat de vertering van cellulose in de celwanden langzaam. Bij welke groep dieren zal het darmkanaal in verhouding tot de lichaamslengte het langst zijn? Leg je antwoord uit.
- 27 In afbeelding 35 en 36 zie je drie verteringsstelsels.
- a Welke aanpassingen van het verteringsstelsel van de dromedaris beperken het vochtverlies via de uitwerpselen tot een minimum?
 - b De blindedarm en de dikke darm van de koala bevatten micro-organismen die cellulase aanmaken.
Een koala verkrijgt bijna al zijn voedingsstoffen (inclusief water) uit eucalyptusbladeren. Leg uit hoe dat mogelijk is.

CONTEXT

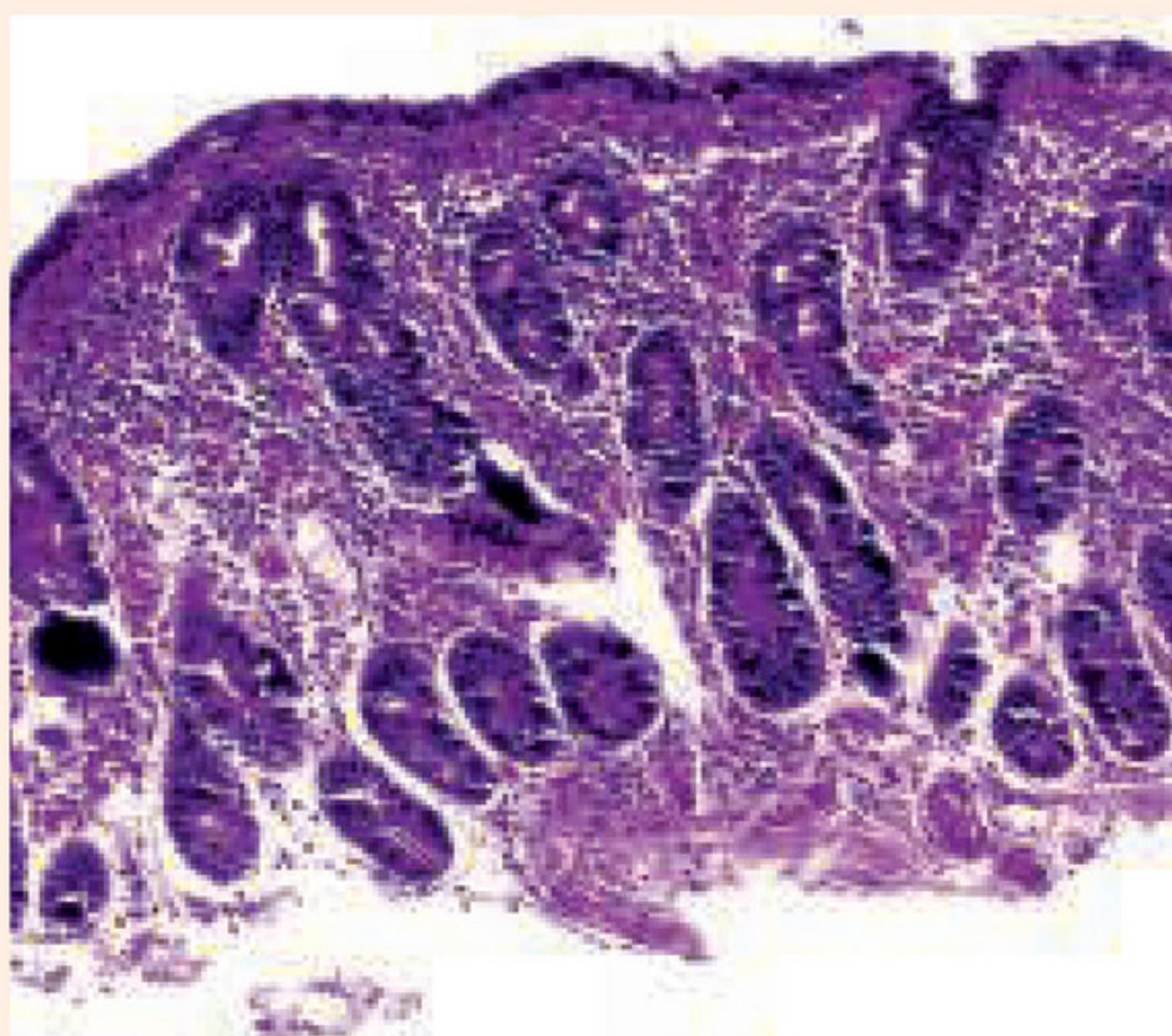
Leefwereld

Glutenintolerantie

▼ Afb. 37 Darmwand.



1 stukje darmwand van een gezonde persoon



2 stukje darmwand van een coeliakiepatiënt

Gluten zijn eiwitten die van nature voorkomen in veel soorten granen, zoals tarwe, rogge, gerst en spelt. Gluten komen daardoor ook voor in de voedingsmiddelen waarin deze granen zijn verwerkt, bijvoorbeeld in brood, crackers, pizza, pasta, paneermeel en koek. Maar ook in soep, snoep en ijs kunnen gluten voorkomen.

Voedsel met gluten zorgt bij mensen met glutenintolerantie (coeliakie) voor ontstekingen van de wand van de dunne darm, waardoor de darm zijn werk niet goed kan doen. Een gezonde dunne darm heeft aan de binnenkant darmvloeiën en darmvlokken. Bij iemand met coeliakie gaan de darmvlokken kapot door de ontstekingen.

Wanneer mensen spreken over een glutenallergie, bedoelen ze vaak coeliakie. De ziekteverschijnselen lopen bij coeliakie behoorlijk uiteen. Je kunt bijvoorbeeld last hebben van diarree, verstopping, een opgezette buik, gewichtsverlies, overgewicht, depressie, bloedarmoede en botontkalking. Door een glutenvrij dieet kan de dunne darm herstellen van coeliakie. Dit dieet moet je levenslang volgen. Elk spoortje van gluten in voeding kan de dunne darm opnieuw beschadigen.

opdracht

- 28 Om te onderzoeken of er bij mensen met ernstige darmklachten sprake is van glutenintolerantie, wordt met behulp van een endoscoop een stukje dunne darm verwijderd en microscopisch onderzocht. In afbeelding 37 is een stukje dunne darm van een gezonde persoon en van een coeliakiepatiënt weergegeven.
- a Behoren alle cellen in afbeelding 37.1 tot één weefseltype of tot meerdere weefseltypen? Leg je antwoord uit.
 - b Wat is het verschil tussen het oppervlak van de dunne darm van een gezonde persoon en dat van een coeliakiepatiënt?
 - c Welke gevolgen heeft dit voor de gezondheid van de patiënt? Leg je antwoord uit.



Leerdoel

- Je kunt aangeven wat gezonde voeding is en wat de gezondheidsrisico's zijn van ongezonde of van te veel voeding.

5 Gezonde voeding

Sinds we genoeg voedsel hebben en infectieziekten kunnen voorkomen, worden we wel ouder maar niet per se gezonder. Het aantal welvaartsziekten stijgt. Onze verre voorouders kenden deze ziekten niet.

GEZOND ETEN

Door gezond te eten verklein je het risico op welvaartsziekten als hart- en vaatziekten, diabetes en kanker. Gezond eten verkleint ook de kans op risicofactoren voor het ontstaan van deze ziekten, zoals hoge bloeddruk, een hoog cholesterolgehalte en overgewicht. Maar wat echt gezond eten is, weten voedingsdeskundigen nog altijd niet precies. Het Voedingscentrum geeft adviezen over gezonde voeding en informatie over voedingsstoffen, voedingsmiddelen en voedingspatronen in relatie tot gezondheid. Als hulpmiddel is hiervoor de Schijf van Vijf samengesteld (zie afbeelding 38).

▼ **Afb. 38** De Schijf van Vijf.

Wat moet je eten uit de vakken?

Vak dranken

Drink voldoende water om de vochtbalans van je lichaam gezond te houden.

Vak brood, graanproducten en aardappelen

Eet elke dag voldoende volkorenbrood, graanproducten en aardappelen.

**Vak groente en fruit**

Eet elke dag ten minste 250 gram groente en 2 porties fruit (200 gram).

Vak smeer- en bereidingsvetten

Vet is niet alleen nodig als bouw- en brandstof, maar levert ook vitaminen A, D en E. Kies onverzadigde vetten in zachte margarine en olie.

Vak vis, peulvruchten, vlees, ei, noten en zuivel

Wissel dierlijke en plantaardige eiwitten af. Vervang vlees door (vette) vis, peulvruchten of ei. Neem elke dag zuivel en wat ongezouten ongebrande, gebrande of geroosterde noten.

Als je eet volgens de Schijf van Vijf, krijg je de optimale combinatie van voedingsstoffen binnen. Uit de grotere vakken moet je meer voedingsmiddelen kiezen dan uit de kleinere vakken. De grote vakken bevatten plantaardige voedingsmiddelen. Voedingsmiddelen die niet voorkomen in de Schijf van Vijf, kun je beter niet of niet te vaak eten. Deze voedingsmiddelen bevatten bijvoorbeeld te veel zout, suiker, verzadigd vet of te weinig vezels en hebben daardoor een negatief effect op je gezondheid.

De hoeveelheid voedsel die je nodig hebt, is vooral afhankelijk van je energiebehoefte. De energiebehoefte in rust (de basale stofwisseling) hangt onder andere af van je geslacht, leeftijd en lichaamsgewicht en de omgevingstemperatuur. Als je actief bent, is de energiebehoefte afhankelijk van de lichamelijke inspanning die je verricht.

VERLEIDINGEN

Gezondheidsorganisaties zoals het Voedingscentrum adviseren om vooral onbewerkt, vers en plantaardig voedsel te eten. Het assortiment voedingsmiddelen in winkels bestaat echter voor een groot deel uit sterk bewerkt voedsel: voedingsmiddelen met veel kleurstoffen, smaakstoffen, geurstoffen, suiker, verzadigd vet en zout en weinig mineralen, vitaminen en vezels. Veel mensen vinden deze voedingsmiddelen lekker, waardoor ze geneigd zijn er veel van te eten of drinken. Deze voedingsmiddelen zijn bovendien overal verkrijgbaar, waardoor je continu in de verleiding komt. Wanneer je deze sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, krijg je veel suiker en verzadigd vet binnen. Sterk bewerkte voedingsmiddelen dragen hierdoor bij aan het ontstaan van welvaartsziekten als obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten.

opdrachten

- 29** Palmolie komt uit het vruchtvlees of zaad van de palmvrucht en wordt gebruikt in heel veel voedingsmiddelen, zoals margarine, ijs, chocolade en kant-en-klaarmaaltijden. Palmolie staat niet in de Schijf van Vijf.
- Bekijk afbeelding 38 en 39 en leg uit waarom palmolie niet in de Schijf van Vijf staat.
 - Uit welke vakken in de Schijf van Vijf leveren de voedingsmiddelen onder andere koolhydraten en voedingsvezels?
 - Uit welke vakken moet je voedingsmiddelen gebruiken om voedingsstoffen binnen te krijgen die bijdragen aan de botopbouw?

▼ **Afb. 39** De voedingswaarden van olijfolie en palmolie.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Koolhy- draten	Suikers	Vet	Verza- digd vet	E.o.v.	M.o.v.	Choles- terol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Olijfolie	883	3696	0,0	0,0	0,2	0,0	99,8	14,5	75,5	9,5	0,0	0,0
Palmolie	874	3659	0,0	0,0	0,0	0,0	98,9	48,5	38,5	11,0	0,0	0,0

- 30 a** Noem drie processen in je lichaam waarvoor altijd energie nodig is, omdat ze deel uitmaken van de basale stofwisseling.
- b** De energiebehoefte van meisjes neemt gemiddeld vanaf hun 16e jaar vrijwel niet meer toe. Die van jongens wel. Leg uit waarmee dat samenhangt.
- 31** Veel vrouwen geven hun baby borstvoeding. Moedermelk bevat per liter 12 g eiwitten. De dagelijkse eiwitbehoefte van een baby is gemiddeld 1,8 g eiwit per kilogram lichaamsgewicht. Bereken hoeveel liter moedermelk een baby van 4 kg per dag minimaal moet drinken om in de dagelijkse behoefte aan eiwitten te voorzien.

- 32 Op de ingrediëntenlijst van een verpakt voedingsmiddel staat het ingrediënt dat er het meest in voorkomt als eerste vermeld. Daarna het ingrediënt dat er dan het meest in voorkomt, enzovoort.
- a Noteer van tien verpakte tussendoortjes (eten of drinken) uit de schoolkantine of suiker bij de eerste drie ingrediënten staat.
 - b Welke conclusie kun je trekken uit je onderzoek?
 - c De Nederlandse regering gelooft in zelfregulering: de voedingsindustrie zorgt ervoor dat de voedingsmiddelen die zij produceren gezond zijn. De artsenorganisatie in Nederland gelooft daar niet in en wil dat de regering een gezondvoedselbeleid gaat voeren. Zij zou maatregelen moeten nemen die een gezonde keuze gemakkelijker en aantrekkelijker maken. Bijvoorbeeld het verbieden van sterk bewerkte tussendoortjes (junkfood) op scholen en ongezonde kindermarketing.
Kom jij vaak in de verleiding om ongezonde tussendoortjes te eten? Leg uit waarom jij wel of niet in de verleiding komt.
 - d Vind jij dat de verkoop van sterk bewerkte tussendoortjes op scholen verboden moet worden om het ontstaan van welvaartsziekten te voorkomen? Leg je antwoord uit.
 - e Een eenzijdig dieet kan leiden tot gebreksziekten. Zoals bij de student die alleen maar pizza's at en daardoor scheurbuik kreeg (zie opdracht 8). Zou jou dat kunnen overkomen? Verklaar je antwoord.

EEN GEZOND GEWICHT

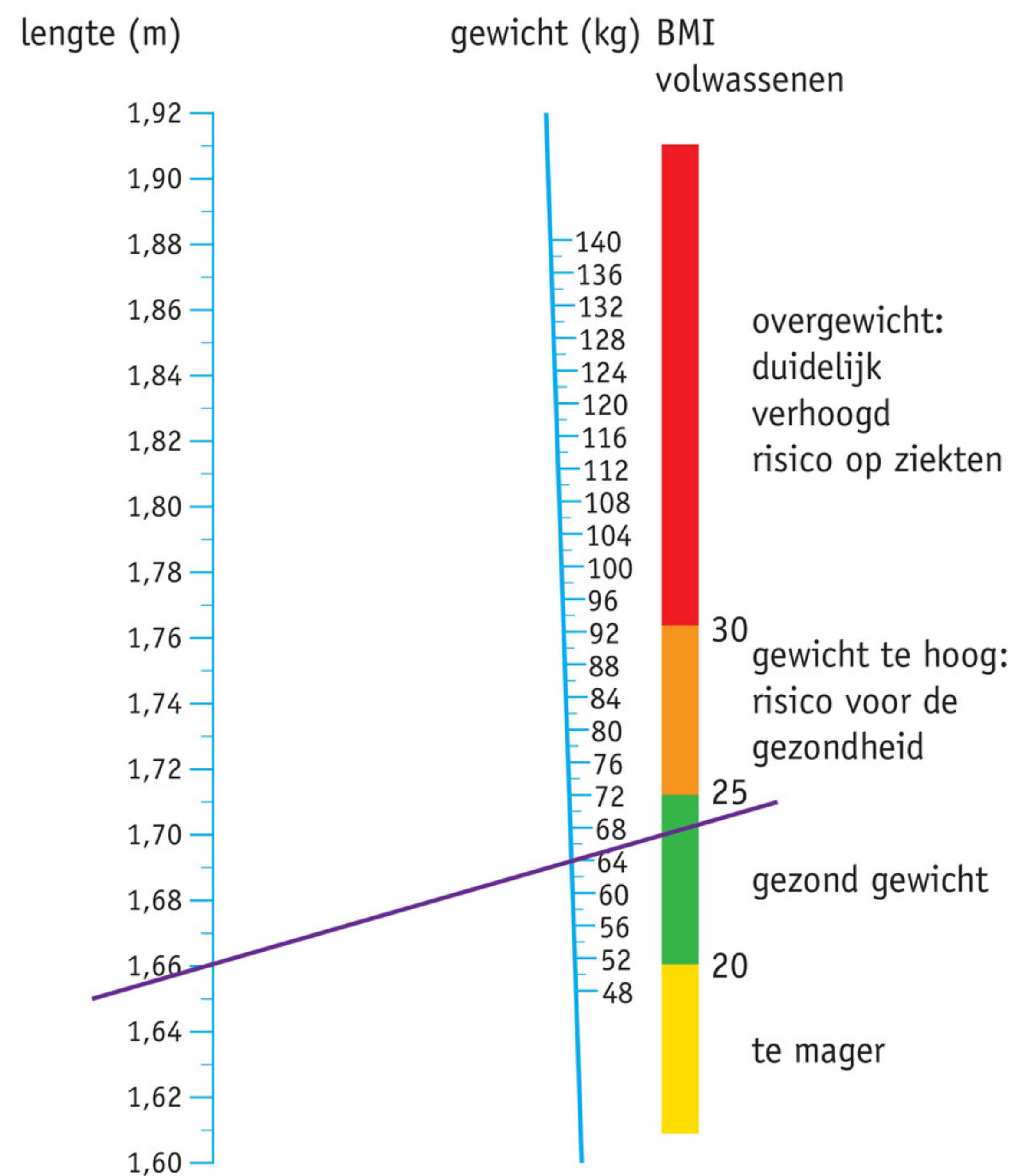
Als je via je voeding regelmatig meer energie binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je zwaarder en dikker worden. Dat komt doordat je een teveel aan vet opslaat in het onderhuidse bindweefsel en rondom organen in je buik (buikvet). Te veel buikvet vergroot het risico op aandoeningen als hart- en vaatziekten, hoge bloeddruk, diabetes type 2 en kanker. Volwassen vrouwen hebben te veel buikvet wanneer hun tailleomvang groter is dan 80 cm. Bij mannen wordt de grens overschreden bij 94 cm. Ook als je via je voeding minder energie en voedingsstoffen binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, kun je ziek worden.

Met de Body Mass Index (BMI) kun je bepalen of je een gezond gewicht hebt (zie afbeelding 40). De BMI is bedoeld voor volwassenen en is een maat voor het gewicht in verhouding tot de lichaamslengte. Er wordt geen rekening gehouden met de verhouding van vet-, spier- en botweefsel. De BMI-meting is daardoor alleen betrouwbaar wanneer je een gemiddelde lichaamsbouw hebt. Volwassenen met een BMI tussen de 20 en 25 hebben een gezond gewicht. Als je BMI te hoog of te laag is, heb je meer risico op ziekten.

Je kunt overgewicht alleen kwijtraken als je met je voedsel minder energie binnenkrijgt dan je verbruikt.

Het is niet verstandig om zomaar minder te gaan eten. Je moet immers wel elke dag voldoende voedingsstoffen binnenkrijgen om gezond te blijven. Beter is het om producten te kiezen met een gezondere samenstelling, tussendoortjes te laten staan en meer te bewegen om af te vallen. Wanneer je veel kilo's kwijt wilt, kun je je het best laten adviseren door een diëtist. Dat geldt ook als je ondergewicht hebt en wilt aankomen.

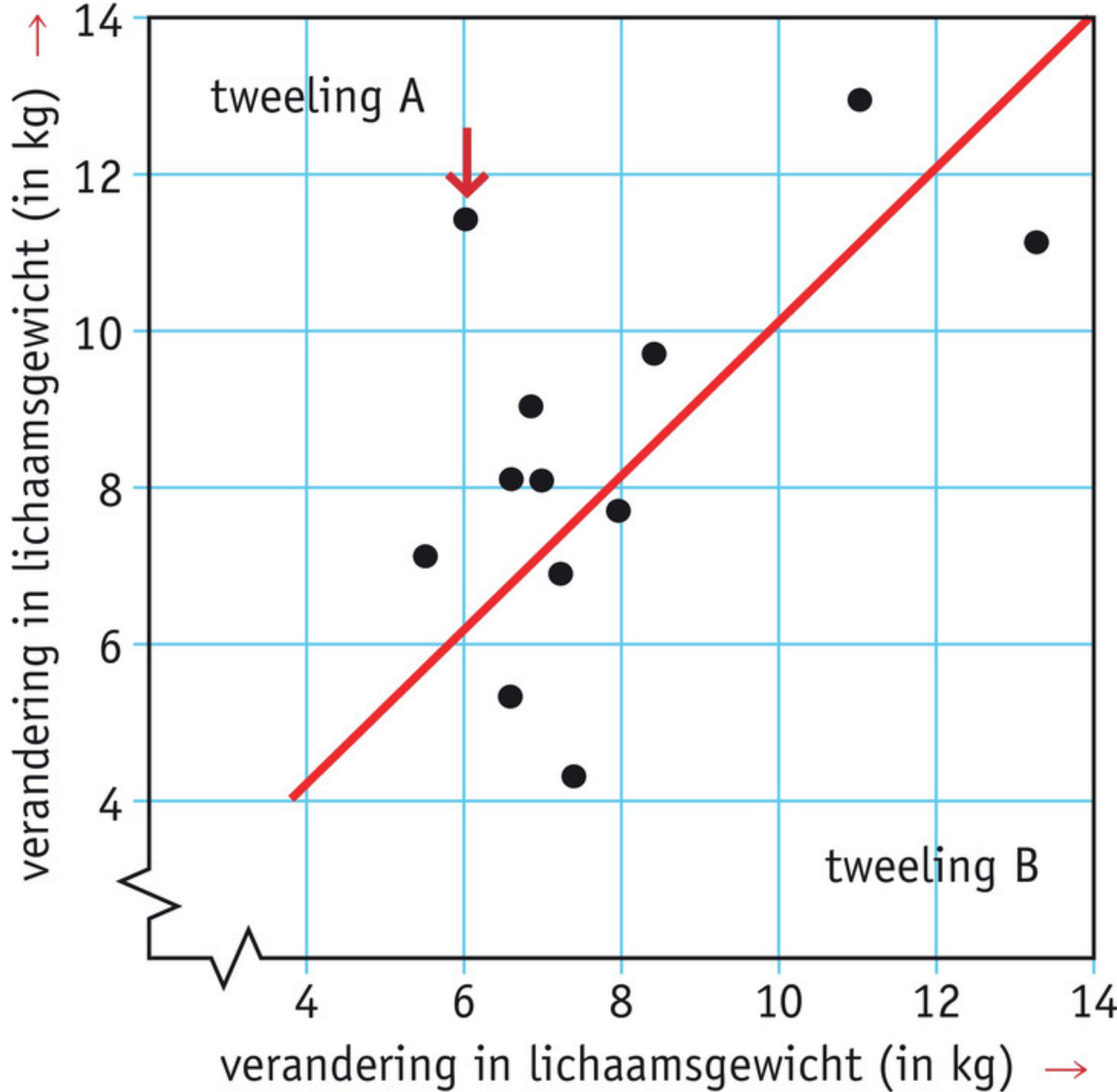
► **Afb. 40** De Body Mass Index (BMI).



opdrachten

- 33** Maarten doet aan judo en heeft daardoor flink veel spieren. Hij doet mee aan de Nederlandse kampioenschappen. Volgens de BMI-meting heeft Maarten geen gezond gewicht.
- Leg uit dat de uitkomst van de BMI-meting niet klopt.
 - Hoe kan Maarten wel bepalen of hij een gezond gewicht heeft?
 - Het is niet vanzelfsprekend dat iemand met een gezond gewicht voldoet aan de eisen voor een gezonde voeding. Leg dat uit.
- 34** In afbeelding 41 staat een onderzoek naar de erfelijkheid van obesitas.
- Formuleer een onderzoeksvraag bij het experiment.
 - Formuleer een hypothese bij de onderzoeksvraag.
 - Is het onderzoek van afbeelding 41 betrouwbaar? Leg je antwoord uit.
 - Wit vetweefsel scheidt het hormoon leptine af. Leptine is een verzadigingshormoon dat aan de hersenen het signaal geeft dat je voldoende hebt gegeten. Bij de rode pijl in de grafiek wordt een tweeling weergegeven waarvan een van de twee verminderd gevoelig is voor het hormoon leptine.
Welke invloed heeft dat op deze persoon?
 - Leg uit waarom het moeilijk is om experimenteel onderzoek te doen naar de oorzaak van gewichtstoename bij mensen.
 - Bij tweelingstudies worden een-eiige tweelingen vergeleken met twee-eiige tweelingen.
Verklaar waarom deze tweelingstudies informatie kunnen geven over de rol van genen ten opzichte van het milieu (de omgeving).

▼ Afb. 41

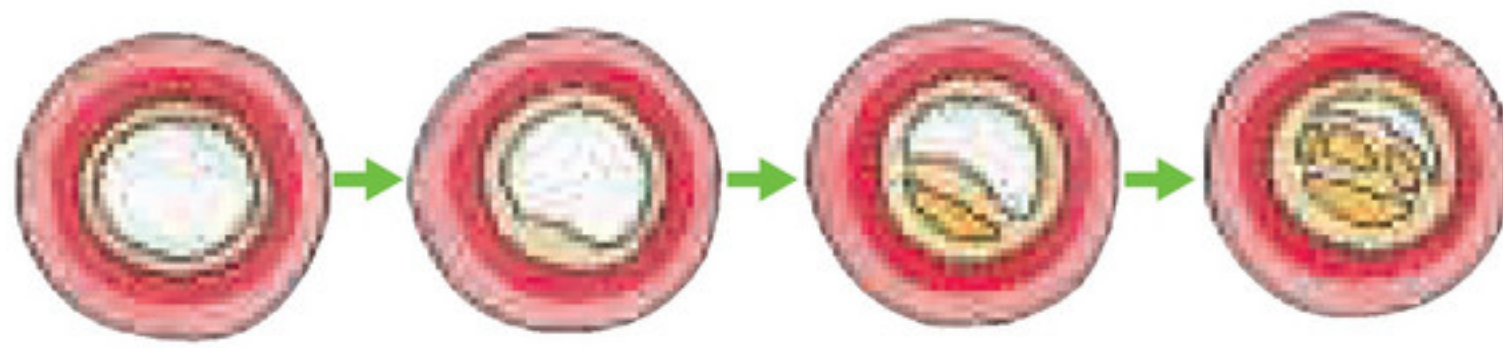
ONDERZOEK		IS OBESITAS ERFELIJK?
Inleiding	In welvarende landen is ruim voldoende voedsel aanwezig en worden lichamelijke arbeid en transport vooral uitgevoerd door machines. Veel mensen leiden hierdoor een zittend leven. Dit heeft geleid tot een toename van het aantal mensen met obesitas. Obesitas is een ernstige vorm van overgewicht doordat er veel vet in het lichaam is opgeslagen. Je hebt obesitas als je BMI 30 of hoger is. De stijging van het aantal mensen met obesitas in de afgelopen decennia kan niet worden verklaard door erfelijke aanleg. Toch worden mensen die in ongeveer dezelfde omgeving leven, niet allemaal even dik.	
Onderzoeksvraag		
Hypothese		
Experiment	Onderzoekers bepalen het gewicht van twaalf mannelijke eeneiige tweelingen. Daarna geven ze de eeneiige tweelingen elke dag extra voeding met een energetische waarde van 1000 kcal. Dat doen ze voor een periode van honderd dagen. Na honderd dagen worden de eeneiige tweelingen opnieuw gewogen.	
Resultaat	De gemiddelde toename in lichaamsgewicht per individu is 8,1 kg. Tussen de tweelingparen is er een groot verschil in gewicht, variërend van 4,3 tot 13,3 kg. Tussen de tweelingen onderling is er een sterke overeenkomst in de toename van het gewicht.  Elk punt in de grafiek geeft een tweelingpaar (A en B) weer. De punten het dichtst bij de diagonale lijn zijn de tweelingen die de meest overeenkomstige verandering in lichaamsgewicht vertoonden.	
Conclusie	Er is een overeenkomst in de reactie op extra voeding bij identieke tweelingen. Hieruit blijkt dat genetische factoren een rol spelen bij gewichtstoename.	

DE CHOLESTEROL-HDL-RATIO

Doordat cholesterol een belangrijke bouwstof is, kun je niet zonder. Maar te veel cholesterol in je bloed is ongezond. Overtollige cholesterol kan zich afzetten tegen beschadigingen aan de binnenwand van bloedvaten, die zijn ontstaan door roken, verhoogde bloeddruk of ouderdom. Hierdoor worden de bloedvaten nauwer. Dit kan op den duur leiden tot hart- en vaatziekten.

Cholesterol wordt vooral aangemaakt door je lever. In je bloed wordt cholesterol vervoerd in lipoproteïnen. Dat zijn verbindingen van cholesterol en eiwitten. Er bestaan verschillende soorten lipoproteïnen, waaronder VLDL (Zeer (very) Lage Dichtheid Lipoproteïne), LDL (Lage Dichtheid Lipoproteïne) en HDL (Hoge Dichtheid Lipoproteïne).

- ▼ **Afb. 42** Vernauwing van een bloedvat door afzetting van LDL-cholesterol.



De cholesterol die je lever aanmaakt, vormt samen met andere vetten VLDL, dat wordt afgegeven aan het bloed. De cellen in weefsels nemen de meeste vetten uit VLDL op. Uiteindelijk ontstaan uit VLDL lipoproteïnen die voornamelijk nog cholesterol bevatten: LDL. Het merendeel van dit LDL wordt opgenomen in de lever, bijnieren en teelballen of eierstokken. LDL-cholesterol dat in het bloed blijft, kan zich afzetten tegen de binnenwand van de bloedvaten (zie afbeelding 42).

De lever maakt ook HDL en geeft dit af aan het bloed. HDL neemt LDL-cholesterol uit het bloed op en voert die af naar de lever. HDL verlaagt zo het LDL-cholesterolgehalte van het bloed. In de lever wordt de overtollige cholesterol met de gal uit het lichaam verwijderd.

Verzadigde vetzuren in je voeding zorgen voor een toename van LDL-cholesterol. Onverzadigde vetzuren zorgen juist voor een toename van HDL-cholesterol. Het HDL vermindert de afzetting van LDL-cholesterol in de bloedvaten. Het kan er zelfs toe leiden dat de afgezette cholesterol in de bloedvaten wordt afgebroken. Hierdoor wordt de kans op hart- en vaatziekten weer kleiner.

- ▼ **Afb. 43** Betekenis van de resultaten van een cholesterolmeting.

Het cholesterol- gehalte is:	Het cholesterol- gehalte is:
lager dan 5,0 mmol/L	normaal
5,0 – 6,4 mmol/L	licht verhoogd
6,5 – 7,9 mmol/L	verhoogd
hoger dan 8,0 mmol/L	sterk verhoogd

Een hoog cholesterolgehalte kan onder andere worden veroorzaakt door overgewicht, het eten van veel verzadigd vet, diabetes en erfelijke aanleg. Een verhoogd cholesterolgehalte is een risicofactor voor hart- en vaatziekten. De waarde van het totale cholesterolgehalte is echter niet voldoende om vast te stellen of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten. Een arts kijkt daarvoor ook naar de verhouding LDL en HDL ofwel de cholesterol-HDL-ratio. Hoe hoger het HDL, des te beter is de afvoer van overtollige LDL-cholesterol naar de lever. Een hoog LDL is juist ongunstig.

De cholesterol-HDL-ratio bereken je door het totale cholesterolgehalte te delen door het HDL. Wanneer de ratio kleiner is dan 4, is er geen verhoogde kans op hart- en vaatziekten (zie afbeelding 43).

opdracht

- 35** Sommige mensen hebben een verhoogd cholesterolgehalte van het bloed terwijl ze voedingsmiddelen met veel cholesterol vermijden.

- Wat is de oorzaak van het hoge cholesterolgehalte bij deze mensen?
- Waarom wordt cholesterol in het bloed vervoerd in lipoproteïnen?
- In afbeelding 44 is de gemiddelde samenstelling van Edammer kaas en pindakaas gegeven.

Geef twee redenen waarom een boterham met pindakaas beter past in een cholesterolverlagend dieet dan een boterham met Edammer kaas.

- Bij een patiënt is het totale cholesterolgehalte 6,5 mmol/L en het HDL 1,2 mmol/L.

Bereken de cholesterol-HDL-ratio van deze patiënt en bepaal of de patiënt een verhoogde kans heeft op hart- en vaatziekten.

- ▼ **Afb. 44** Samenstelling van Edammer kaas en pindakaas.

	Energie	Energie	Water	Eiwit	Kool- hydra- ten	Suikers	Vet	Verza- digd vet	E.o.v.	M.o.v.	Choles- terol	Vezels
Eenheid per 100 g	kcal	kJ	g	g	g	g	g	g	g	g	mg	g
Edammer kaas 40+	313	1310	45,5	26,1	0,0	0,0	23,4	15,5	6,0	0,7	71,0	0,0
Pindakaas	625	2613	3,0	26,0	12,0	6,0	52,0	9,2	23,0	17,5	0,0	6,0

VOEDSEL EN ONZE OMGEVING

De productie van voedsel heeft invloed op het milieu. Gewasbeschermingsmiddelen, mest, transport, zoetwatergebruik en het gebruik van energie hebben allemaal gevolgen voor de leefomgeving.

In 2050 zal de wereldbevolking naar verwachting zijn gegroeid tot negen miljard mensen, waardoor de voedselproductie moet toenemen. Bovendien zal door de groeiende welvaart de vraag naar bepaalde voedingsmiddelen stijgen, bijvoorbeeld de vraag naar vlees. Maar er is te weinig ruimte voor vee om aan deze vraag te kunnen voldoen. We gebruiken nu al twee derde van het landbouwooppervlak voor vleesproductie. Dit probleem wordt ook wel de eiwitcrisis genoemd. Er wordt daarom veel onderzoek gedaan naar nieuwe productieprocessen om problemen als voedseltekort in de toekomst te voorkomen en duurzaamheid te bevorderen.

opdracht

- 36 Stel dat wetenschappers de genen van de zeeslak *Elysia chlorotica* kunnen inbouwen in het DNA van mensen, waardoor we bladgroenkorrels kunnen opnemen en reproduceren. Stel dat we hierdoor niet alleen onze eigen glucose zouden kunnen produceren, maar uit die glucose ook eiwitten en vetten zouden kunnen maken. Dan zouden we alleen nog maar water hoeven drinken en dagelijks een paar pilletjes met mineralen en stikstof slikken.
- a Bedenk wat de voordelen voor het milieu zouden zijn als mensen niet meer hoeven te eten. Noteer er vier.
 - b Wat vind jij de nadelen van dit idee?

CONTEXT

Beroep

Plantaardige biefstuk

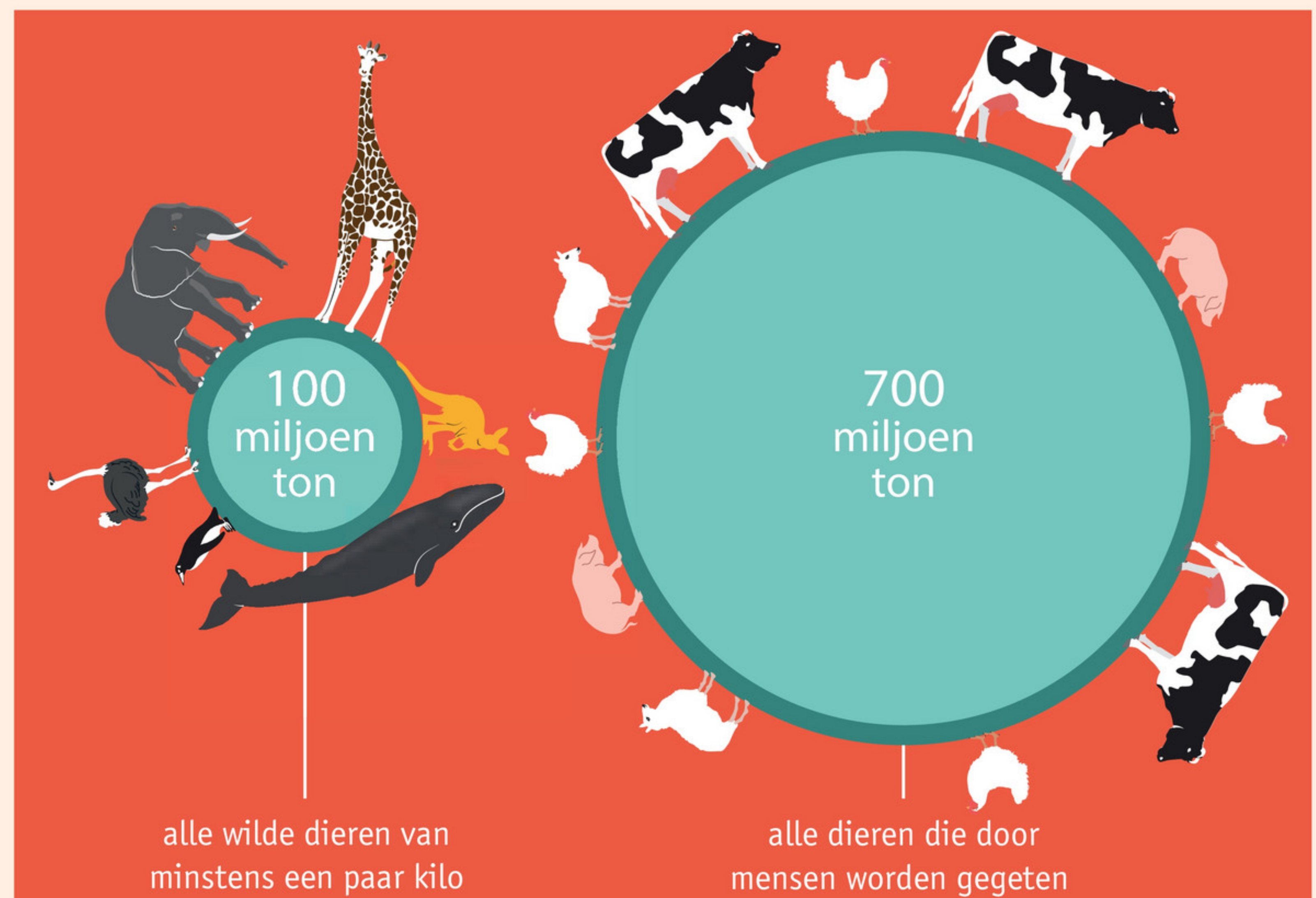
Steeds meer wetenschappers pleiten voor een ‘eiwitomslag’: geen of minder vlees eten en in je eiwitbehoefte voorzien door het eten van plantaardige eiwitten. Maar voor veel mensen is een maaltijd zonder een stukje vlees niet compleet. Als je deze vleeseters wilt verleiden om geen of minder vlees te eten, moet je ze iets anders aanbieden dat minstens zo lekker is.

Lidewij heeft voedingsmiddelentechnologie gestudeerd aan de HAS in 's-Hertogenbosch. Zij heeft geleerd hoe je nieuwe, verantwoorde en gezonde voedingsmiddelen ontwikkelt en produceert. Lidewij werkt in een bedrijf dat vlees maakt zonder dieren. Uit plantaardig materiaal (zoals tarwegluten en soja) produceren ze in dit bedrijf plantaardig ‘vlees’. Door de vleesproducten te bewerken, smaken ze minstens zo goed als echt vlees.

opdrachten

- 37 Lidewij heeft voedingsmiddelentechnologie gestudeerd.
- a Zoek op internet op wat de hbo-opleiding Voedingsmiddelentechnologie precies inhoudt.
 - b Een voedingsmiddelentechnoloog moet creatief en innovatief zijn. Leg dat uit.

► **Afb. 45** Het gewicht van wilde dieren en gefokte dieren.



- 38** In afbeelding 45 zie je het gewicht van alle wilde dieren van minstens een paar kilo (zoals giraffen, pinguïns, walvissen, olifanten en leeuwen) en het gewicht van alle dieren die door mensen worden gegeten (zoals koeien, varkens, schapen en kippen).
- Welke conclusie kun je trekken uit deze afbeelding?
 - Noem twee redenen waarom het beter is voor het milieu om geen vlees meer te eten.
 - Per jaar worden er ongeveer 65 miljard dieren geslacht. Het aantal mensen dat ooit heeft geleefd (in de afgelopen 50 000 jaar), is 110 miljard. We doen er nu minder dan twee jaar over om evenveel dieren te slachten. Is dit voor jou een reden om geen of minder vlees te eten? Licht je antwoord toe met een biologisch of ethisch argument.
 - Volgens het Voedingscentrum brengt het eten van te veel vlees risico's voor de gezondheid met zich mee. Rood en vooral bewerkt vlees zoals vleeswaren worden in verband gebracht met beroerten, diabetes type 2 en kanker. Is dit voor jou een reden om geen of minder vlees te eten? Licht je antwoord toe.

Je hebt nu de basisstof van dit thema doorgewerkt.

- Doe online de verrijkingsstoffen, flitskaarten en Test Jezelf.
- Ga in het boek verder met de Samenhang en de Examentrainer.

Leerdoelen

- Je kunt de argumenten voor het eten van insecten door mensen toelichten voor verschillende organisatieniveaus van de biologie.
- Je kunt de biologische vakvaardigheden ecologisch denken, systeemdenken en vorm-functie-denken toepassen op de vertering bij mieren en het eten van insecten door mensen.

▼ Afb. 1 Hangende honingpotmieren.



Organisatie-niveau	Begrip
Biosfeer	
Ecosysteem	
Populatie	
Organisme	
Orgaanstelsel	-
Orgaan	
Cel	
Molecuul	

Eten en gegeten worden

De chef-kok van het wereldberoemde Deense restaurant Noma serveert ze levend. Een soort met de naam ‘honingpot’ is in veel landen een ware traktatie. En het zijn naast mensen de enige dieren die aan ‘landbouw’ doen: mieren.

Mensen eten mieren. Het achterlijf van gespecialiseerde werksters van de honingpotmier wordt door soortgenoten gebruikt voor voedselopslag. Aborigines in Australië besteden veel tijd aan het uitgraven van een nest van honingpotmieren om exemplaren met een gezwollen achterlijf te vinden (zie afbeelding 1). Ze bijten het achterlijf open en zuigen het leeg. Mexicanen knijpen de inhoud eruit en gebruiken die bij het bereiden van hun maaltijden. In Colombia kun je in de pauze van een film geroosterde parasolmieren kopen in plaats van popcorn. En een stam indianen die in het Amazonegebied leeft, vindt sauvamieren een delicatessen. Ze smaken naar citroen en worden gebruikt als smaakmaker in bijvoorbeeld sausjes. Mieren verzamelen hun voedsel, maar meestal doen ze nog meer om aan eten te komen. Zo doen honingpotmieren en veel andere mierensoorten aan veeteelt. Ze ‘melken’ bladluizen. Bladluizen zuigen met hun snuit het sap uit de bastvaten van planten. Het teveel aan suikers in het sap komt via de anus als honigdauw naar buiten. Mieren likken de honigdauw op. In ruil daarvoor krijgen de luizen bescherming tegen roofdieren, zoals het lieveheersbeestje.

Parasolmieren doen aan akkerbouw. Ze kweken schimmels. Ze knippen stukjes blad af met hun kaken en dragen deze als een soort parasol naar hun nest onder de grond. Daar worden de bladeren door werkstermieren fijngekauwd tot moes. Deze bladermoes gaat schimmelen. De schimmels en hun sporen worden als voedsel gebruikt door de mieren en hun mierenlarven.

opdrachten

- 1

Zet de woorden bij het juiste niveau.
Kies uit: *Amazonegebied* – *chef-kok* – *een nest honingpotmieren* – *snuit* – *sporen* – *suiker* – *wereld*.
- 2

Bij mieren komt voedsel in de mond eerst in een speciaal zakje dat werkt als een zeef. De mier spuugt te grote voedseldeeltjes uit. Hierdoor wordt voorkomen dat deze in het spijsverteringskanaal terechtkomen.

a

Bekijk afbeelding 2 en leg uit waardoor mieren geen grote voedseldeeltjes kunnen verteren.

b

Onderzoekers hebben ontdekt dat werksters van mierenkolonies met larven vooral eiwitrijk voedsel verzamelen. Werksters van mierenkolonies zonder larven verzamelen vooral suikerrijk voedsel. Leg dit uit.

c

Insecten gebruiken hun krop om voedsel in op te slaan (zie afbeelding 2). Honingpotmieren hebben vliezen tussen de segmenten van hun achterlijf die kunnen uittrekken. Leg uit waarvoor dat nodig is.

d

Wanneer de achterlijven van honingpotmieren sterk zijn gezwollen, zijn ze niet meer in staat om zich te verplaatsen. Ze kunnen alleen nog maar hangen. Het voedsel dat de andere werksters brengen, wordt vooral opgeslagen.

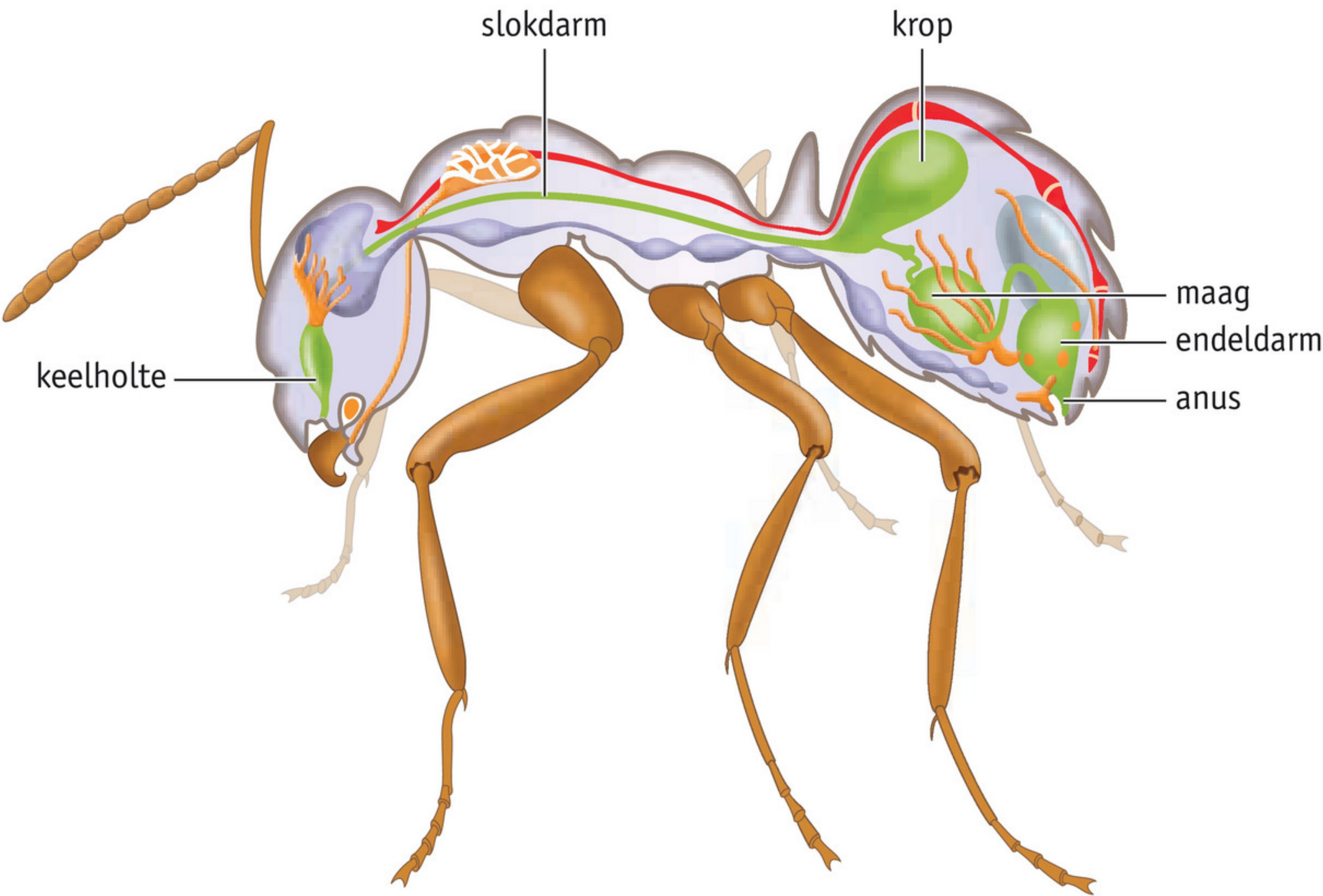
Geef twee redenen waarom hangende honingpotmieren weinig voeding nodig hebben.

e

Honingpotmieren leven in warme, droge gebieden.

Waarom kunnen ze juist daar goed overleven?

► **Afb. 2** Het spijsverteringsstelsel van een mier.



- 3
- Qua voedingswaarde zijn mieren, net als andere insecten, een uitstekende vervanger van vlees. Dat is voor sommige entomologen (wetenschappers die insecten onderzoeken) een reden om het eten ervan te promoten.
- a
- Leg met behulp van afbeelding 3 uit waarom sommige wetenschappers insecten een duurzaam alternatief vinden voor vlees. Geef vier argumenten.
- b
- Onderzoeker Ben Reade ziet het eten van insecten helemaal niet als een duurzame oplossing voor het wereldvoedselprobleem. Hij vindt het bijvoorbeeld geen goed idee dat de insectenkwekerijen in Nederland insecten produceren op basis van het intensieve veeteeltmodel. Ook hebben we in Nederland geen tekort aan eiwitten. Volgens Reade kunnen we beter onze eiwitten uit planten halen voor een duurzame oplossing. Leg dat uit.
- c
- Het eten van insecten is cultuurgebonden. Als je ermee bent opgegroeid, vind je het geen probleem om ze te eten.
Geef een ecologische reden waarom mensen in Nederland niet gewend zijn om insecten te eten, maar mensen in de tropen wel.
- d
- Mieren bevatten 14 g eiwit per 100 g. Gemiddeld hebben gezonde mensen per kilogram lichaamsgewicht 0,8 g eiwit per dag nodig.
Bereken hoeveel mieren een persoon van 70 kg moet eten om aan zijn dagelijkse eiwitbehoefte te kunnen voldoen.

▼ **Afb. 3** Vleesproductie.

Diersoort	Omzettingsfactor van 10 kg voer (maïs, tarwe, soja, enzovoort)	Eetbaar deel	CO ₂ -uitstoot per kg	Ruimtebeslag (m ² /kg)
Rund	1 kg	40%	15,9	14,7
Varken	3 kg	55%	4,5	7,7
Kip	5 kg	55%	2,6	4,6
Sprinkhaan	9 kg	80%	1,7	2,4

practicumopdracht 1

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- een brander met een driepoot en een gaasje
- een reageerbuisknijper
- een bekersglas van 500 mL
- een mes (of een spatel)
- eiwit van een ongekookt kippenei
- glucose
- zetmeel
- vitamine C-oplossing
- biureet-reagens in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- DCPIP-oplossing in een flesje met een druppelpipet

Practica

Voedingsstoffen aantonen

►► BASISSTOF 1

Sommige voedingsstoffen kun je aantonen met indicatoren. In deze practicumopdracht onderzoek je welke kleurveranderingen er optreden als je met indicatoren een voedingsstof aantoonst.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Vul het bekersglas voor de helft met water, zet dit op de driepoot met gaasje en verhit het water met de brander.
- Eiwitten: doe een beetje eiwit in reageerbuis 1. Voeg ongeveer 3 mL water toe en schud de buis voorzichtig. Voeg dan enkele druppels biureet-reagens toe (zie afbeelding 1).
- Glucose: doe een mespunt glucose in reageerbuis 2. Voeg ongeveer 3 mL water toe en schud tot de glucose is opgelost. Voeg vervolgens ongeveer tien druppels fehling-reagens toe. Zet de buis in het bekersglas met water en breng het water aan de kook. Verhit de buis tot de inhoud kookt.
- Zetmeel: doe een mespunt zetmeel in reageerbuis 3. Voeg ongeveer 3 mL water toe. Voeg vervolgens enkele druppels jodiumoplossing toe. Schud de buis.
- Vitamine C: doe een beetje vitamine C-oplossing in reageerbuis 4. Voeg één druppel DCPIP-oplossing toe. Schud de buis.

▼ **Afb. 1** Druppels toevoegen met een druppelpipet.



RESULTAAT

Maak een tabel van de voedingsstoffen en hun indicator en noteer welke kleurverandering je waarneemt.

practicumopdracht 2

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- een brander met een driepoot en een gaasje
- een reageerbuisknijper
- een bekersglas van 500 mL
- een mes en een schaalte of een vijzel
- voedingsmiddelen, bijvoorbeeld brood, worst, ui, melk, sinas
- biureet-reagens in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet
- jodiumoplossing in een flesje met een druppelpipet
- DCPIP-oplossing in een flesje met een druppelpipet

practicumopdracht 3

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 9 reageerbuizen
- 9 etiketten
- een pipet van 2 mL
- een bekersglas met gedestilleerd water
- zetmeeloplossing van 2%
- een waterbad
- joodoplossing in een flesje met een druppelpipet
- fehling-reagens in een flesje met een druppelpipet
- een bekersglas
- een brander met een driepoot en een gaasje

Voedingsstoffen in voedingsmiddelen aantonen

►► BASISSTOF 1

In deze practicumopdracht onderzoek je met indicatoren of eiwitten, glucose, zetmeel en vitamine C in bepaalde voedingsmiddelen voorkomen.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Neem een voedingsmiddel. Een vast voedingsmiddel maak je goed fijn.
- Doe in elke reageerbuis een kleine hoeveelheid voedingsmiddel. Voeg aan de reageerbuizen ongeveer 2 mL water toe en schud de buizen. Als het voedingsmiddel vloeibaar is, doe je in elke reageerbuis ongeveer 2 mL van het voedingsmiddel.
- Vul het bekersglas voor de helft met water en zet dit op de driepoot met gaasje. Verhit het water met de brander.
- Onderzoek met behulp van de indicatoren of het voedingsmiddel eiwitten, glucose, zetmeel of vitamine C bevat. Verhit een reageerbuis waar je fehling-reagens aan hebt toegevoegd in het bekersglas tot de inhoud kookt.
- Noteer je resultaten.
- Onderzoek vervolgens op dezelfde manier enkele andere voedingsmiddelen.
- Maak tussendoor de buizen steeds goed schoon.

RESULTAAT

- Noteer in een overzicht welke voedingsmiddelen je hebt onderzocht en geef aan welke voedingsstoffen de voedingsmiddelen bevatten.
- Vergelijk je gegevens met die van medeleerlingen. Probeer de oorzaak te achterhalen als de resultaten niet overeenkomen.

De werking van speeksel

►► BASISSTOF 3

In deze practicumopdracht onderzoek je de werking van amylase in speeksel. Je gebruikt daarbij jodiumoplossing en fehling-reagens als indicatoren.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 9.
- Verzamel speeksel in je mond. Vul reageerbuis 9 tot ongeveer 1,5 cm hoogte met speeksel. (Dun, waterig speeksel geeft een beter resultaat dan dik, slijmerig speeksel.)
- Verdun het speeksel met een gelijke hoeveelheid gedestilleerd water. Meng goed.
- Pipetteer in reageerbuis 1 en 2 elk 1 mL gedestilleerd water.
- Pipetteer in reageerbuis 3 en 4 elk 1 mL spekseloplossing.
- Spoel de pipet goed schoon.
- Pipetteer in reageerbuis 5 tot en met 8 elk 2 mL zetmeeloplossing.
- Zet de reageerbuizen in het waterbad bij 37 °C. Laat de buizen 5 minuten op temperatuur komen.
- Doe de inhoud van reageerbuis 1 bij die van reageerbuis 5, die van 2 bij die van 6, die van 3 bij die van 7 en die van 4 bij die van 8. Laat reageerbuis 5 tot en met 8 nog 10 minuten in het waterbad staan bij 37 °C.

practicumopdracht 4

MATERIAAL

- een reageerbuisrek
- 4 reageerbuizen
- 4 etiketten
- 4 pipetten (2 van 1 mL, 1 van 5 mL en 1 van 10 mL)
- alvelessap (pancreatineoplossing van 4%)
- gal
- olijfolie
- gedestilleerd water
- een waterbad
- fenolftaleïneoplossing (1% in een flesje met een druppelpipet)
- natriumhydroxide (0,05 mol/L NaOH)

- Voeg aan reageerbuis 5 en 7 elk vijf druppels jodiumoplossing toe. Voeg aan reageerbuis 6 en 8 elk tien druppels fehling-reagens toe. Schud de buizen. Zet reageerbuis 6 en 8 in een bekersglas met water. Verhit het bekersglas met de reageerbuizen tot de inhoud kookt.

RESULTAAT

Maak een overzicht van je resultaten.

CONCLUSIE

- 1 Welke conclusie kun je trekken?
- 2 Buis 5 en 6 dienen als controleproef. Leg dit uit.

De werking van alvelessap en gal

►► BASISSTOF 3

Alvelessap en gal spelen een rol bij de vertering van vetten in de twaalfvingerige darm en de dunne darm. In deze practicumopdracht onderzoek je wat de invloed van gal is op de werking van alvelessap.

ONDERZOEKSVRAAG

Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

HYPOTHESE

Stel een hypothese op bij je onderzoeksvraag.

METHODE

- Nummer de reageerbuizen van 1 tot en met 4.
- Pipetteer in reageerbuis 2 en 4 elk 5 mL alvelessap.
- Pipetteer in reageerbuis 3 en 4 elk 1 mL gal.
- Spoel de pipetten goed schoon.
- Pipetteer in elke reageerbuis 0,5 mL olijfolie.
- Pipetteer hierna in elke reageerbuis zoveel gedestilleerd water dat er 10 mL vloeistof in de reageerbuis zit.
- Spoel de pipetten goed schoon.
- Schud de reageerbuizen goed en zet ze weg in het waterbad bij 37 °C. Laat de buizen staan tot de volgende les.

Na 1 tot 3 dagen

Fenolftaleïne is kleurloos in een zuur milieu en rood in een basisch milieu. Door natriumhydroxide toe te voegen neutraliseer je de vetzuren die bij de vertering vrijkomen.

- Voeg aan elke reageerbuis twee druppels fenolftaleïneoplossing toe.
- Pipetteer in reageerbuis 1 telkens 0,1 mL natriumhydroxide. Schud de buis na elke toevoeging. Stop met toevoegen als de vloeistof in de reageerbuis blijvend een roze kleur krijgt. Noteer hoeveel milliliter natriumhydroxide je hebt toegevoegd.
- Doe hetzelfde met de andere reageerbuizen.

RESULTAAT

- Maak een overzicht van je resultaten.
- Leg uit waarom je telkens 0,1 mL natriumhydroxide moet toevoegen totdat de oplossing in de reageerbuis blijvend roze kleurt.

practicumopdracht 5

MATERIAAL

- een weegschaal
- een meetlint en eventueel meetlat
- de BMI-index (afbeelding 40)

- In welke reageerbuis of reageerbuizen is het meeste vet verteerd? Leg je antwoord uit.
- In welke reageerbuis of reageerbuizen is ook vet verteerd? Leg je antwoord uit.
- In welke reageerbuizen heeft geen vertering van vet plaatsgevonden? Leg uit waardoor niet.

CONCLUSIE

- 1 Welke conclusie kun je trekken?

Je BMI en tailleomtrek bepalen

►► BASISSTOF 5

Voor een gezond gewicht moet de voedselopname zijn afgestemd op het energieverbruik. In deze practicumopdracht onderzoek je of je een gezond gewicht hebt.

ONDERZOEKSVRAAG

Formuleer een onderzoeksvraag bij dit onderzoek.

HYPOTHESE

Stel een hypothese op bij je onderzoeksvraag.

METHODE

- Weeg jezelf (thuis) wanneer je je gewicht niet weet.
- Bepaal je lengte (in centimeters) wanneer je niet weet hoe lang je bent.
- Bepaal met behulp van de BMI-index van afbeelding 40 of je een gezond gewicht hebt.
- Meet je tailleomtrek om het smalste punt met een meetlint.

RESULTATEN

Beantwoord de volgende vragen.

- Heb je een gezond gewicht volgens de BMI-index?
- Heb je een gezonde tailleomtrek?

CONCLUSIE

- 1 Welke conclusie kun je trekken?

DISCUSSIE

- 2 Zijn de resultaten van de practicumopdracht betrouwbaar? Leg je antwoord uit.

Samenvatting

LEERDOEL 1 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de kenmerken en functies noemen van zes groepen voedingsstoffen en van voedingsvezel.

- Voedingsmiddelen: alles wat je eet en drinkt.
- Voedingsstoffen: de bruikbare bestanddelen van voedingsmiddelen.
 - Voedingsstoffen kunnen dienen als bouwstoffen voor de productie van organische moleculen bij de voortgezette assimilatie. Deze moleculen zijn nodig voor groei en ontwikkeling, voor vervanging van afgestorven cellen en voor herstel van verwondingen.
 - Voedingsstoffen kunnen dienen als brandstoffen om energie te leveren voor de dissimilatie. De energie is nodig om te kunnen bewegen, voor het op peil houden van de lichaamstemperatuur en voor groei, ontwikkeling en herstel.
- Eiwitten (proteïnen):
 - Functie: vooral bouwstoffen. Komen voor in tussencelstof (collageen, kraakbeen, been), zijn nodig bij het transport van stoffen (transporteiwitten), de celcommunicatie (signalen overbrengen; hormonen, neurotransmitters) en bij chemische reacties (enzymen).
 - Een teveel aan opgenomen eiwitten wordt niet opgeslagen; ze worden omgezet in glucose en verbrand.
 - Essentiële aminozuren: moeten in het voedsel aanwezig zijn, omdat ze niet of in onvoldoende hoeveelheden in het lichaam van de mens kunnen worden gevormd.
- Koolhydraten (sachariden):
 - Functie: vooral brandstoffen, ook bouwstoffen (o.a. in DNA, ATP en in celmembranen).
 - Een teveel aan opgenomen koolhydraten wordt omgezet in glycogeen of vet en opgeslagen.
- Voedingsvezel: stoffen afkomstig van plantaardige voedingsmiddelen die niet door enzymen van de mens kunnen worden verteerd.
 - Functie: de darmwerking bevorderen.
- Vetten (lipiden):
 - Functie: vooral brandstoffen, ook bouwstoffen (fosfolipiden in membranen). Oplosmiddel voor sommige vitamines: A, D, E en K.
 - Een teveel aan opgenomen vetten wordt opgeslagen onder de huid en rondom organen.
 - Essentiële vetzuren: moeten in het voedsel aanwezig zijn.

- Water:
 - Functie: bouwstof (in lichaamscellen). Dient ook als oplosmiddel en transportmiddel en bepaalt samen met de opgeloste stoffen de osmotische waarde van vloeistoffen in het lichaam.
 - Organismen bestaan voor het grootste deel uit water.
- Mineralen (zouten):
 - Functie: bouwstoffen (bijv. calcium en fosfor in de tussencelstof van beenweefsel en tandbeen).
 - Spoorelementen: mineralen die in geringe hoeveelheden in het voedsel aanwezig zijn. Spoorelementen zijn vaak bestanddeel van enzymen of hormonen.
- Vitaminen:
 - Functie: bouwstoffen (o.a. als bestanddeel van enzymen).
 - Bij een tekort aan vitamines in het voedsel ontstaan gebreksziekten. Een teveel kan ook schadelijk zijn.
 - Vitaminen (behalve vitamine K) kunnen niet in het lichaam worden gevormd en moeten dus in het voedsel aanwezig zijn. Sommige vitamines kunnen in het lichaam worden gevormd uit provitamines (die in het voedsel aanwezig moeten zijn).

LEERDOEL 2 ►► BASISSTOF 1

Je kunt de bouw, werking en functies van de verteringsorganen van de mens beschrijven en de relatie herkennen tussen de bouw en hun functie.

- Darmperistaltiek: het afwisselend samentrekken van kringspieren en lengtespieren in de wand van het darmkanaal waardoor de voedselbrij wordt voortgeduwd, gekneed en gemengd met de verteringssappen.
- Verteringssappen: worden aan de voedselbrij afgegeven door verteringsklieren en bevatten enzymen.
- Vertering: in het darmkanaal (verteringskanaal).
 - Mechanische vertering: kauwen en kneden (darmperistaltiek).
 - Chemische vertering: enzymen in verteringssappen breken voedingsstoffen af tot moleculen die cellen in de darmwand kunnen opnemen.
- Mondholte:
 - Speekselklieren: produceren speeksel.
 - Gebit: voedsel afbijten en verkleinen (kauwen).
- Keelholte:
 - Slikreflex: de huig sluit de neusholte af en het strotklepje sluit de luchtpijp af.
- Slokdarm: verbindt de keelholte met de maag.
- Maag:
 - Functie: tijdelijke opslagplaats van voedsel.
 - Kringspieren bij de ingang en de uitgang (maagportier) kunnen de maag afsluiten.

- Maagsapklieren produceren maagsap.
- Zoutzuur (HCl) in maagsap zorgt voor een sterk zuur milieu waardoor bacteriën in het voedsel worden gedood.
- Slijm in maagsap beschermt de maagwand tegen het maagsap.
- Lever:
 - Functie voor de spijsvertering: produceert gal.
 - Gal wordt tijdelijk opgeslagen in de galblaas en afgevoerd via de galbuis.
 - Gal: bevat galkleurstoffen en galzouten.
 - Emulgeren: galzouten verdelen grote vetdruppels in het voedsel in kleine druppeltjes waardoor het oppervlak van de vetdruppels wordt vergroot.
- Alvleesklier (pancreas):
 - Functie: produceert alvleessap.
- Twaalfvingerige darm (eerste deel van de dunne darm):
 - Functie: vermengt gal en alvleessap met de voedselbrij.
- Dunne darm: darmsapklieren produceren darmsap.

LEERDOEL 3 ►► BASISSTOF 2

Je kunt verschillen en overeenkomsten herkennen tussen organen en orgaanstelsels van de mens en van verschillende diersoorten.

- Fagocytose: opnemen van voedsel in de cel door het afsnoeren van blaasjes (voedingsvacuole).
 - Voedingsvacuole: een blaasje met voedingsstoffen dat ontstaat door instulping en afsnoering van het celmembraan.
- Intracellulaire vertering: vertering in de cel.
- Extracellulaire vertering: vertering vindt plaats in een speciale ruimte in het lichaam.
 - Maag-darmholte: een holte in het lichaam met maar één opening die mond en anus tegelijk is en waarin vertering van voedsel plaatsvindt.

LEERDOEL 4 ►► BASISSTOF 3

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden verteerd in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

- Speeksel: bevat slijm en amylase.
 - Slijm: maakt het voedsel glad, waardoor het inslikken gemakkelijker gaat.
 - Amylase (pH-optimum 6,6) verteert zetmeel tot maltose.
 - De speekselproductie wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel.
- Maagsap: bevat zoutzuur, slijm en pepsinogeen (een inactief pro-enzym).
 - Een inactief pro-enzym: een niet-actief enzym dat door chemische reacties met andere stoffen wordt omgezet in een actief enzym.

- Zoutzuur (HCl) activeert pepsinogeen in maagsap tot pepsine.
- Pepsine activeert pepsinogeen tot pepsine (positieve terugkoppeling).
- Pepsine (pH-optimum 2,5) verteert eiwitten tot lange polypeptiden (vrij lange aminozuurketens).
- Bij een lage pH in de twaalfvingerige darm is de maagportier samengetrokken.
- Bij een licht basische pH in de twaalfvingerige darm is de maagportier ontspannen.
- Gal: de galblaas geeft gal af als vethoudend voedsel de wand van de twaalfvingerige darm passeert.
- Alvleessap: de alvleesklier geeft alvleessap af als de pH in de twaalfvingerige darm laag is.
 - Bevat amylase, trypsine, peptidasen en lipase.
 - Is basisch waardoor de pH in de twaalfvingerige darm stijgt (pH 8 à 9).
 - Door vrijkomen van vetzuren daalt de pH van de voedselbrij naar ongeveer 7 als het in de dunne darm aankomt.
- Darmsap:
 - Bevat maltase, sacharase, lactase en peptidasen.
 - De enzymen voltooien de vertering van eiwitten en koolhydraten.

LEERDOEL 5 ►► BASISSTOF 4

Je kunt beschrijven waar en op welke wijze voedingsstoffen worden opgenomen in het darmkanaal en welke factoren daarop van invloed zijn.

- Dunne darm:
 - Darmwand: groot oppervlak door darmplooiën, darmvlokken en microvilli (uitstulpingen van darmepitheelcellen).
 - Darmepitheel: de buitenste laag cellen van de darmvlokken. Functie: opname van water, voedingsstoffen en verteringsproducten.
- Resorptie: de opname van stoffen via de darmwand in het bloed en de lymfe.
 - Kan plaatsvinden in het hele darmkanaal.
 - In de dunne darm vindt de meeste resorptie plaats door het grote oppervlak.
- Resorptie door:
 - passief transport: diffusie via de fosfolipiden, porie-eiwitten of transporteiwitten in het membraan;
 - actief transport (er is energie nodig uit de omzetting van ATP): darmepitheelcellen nemen stoffen op tegen het concentratieverval in en er vindt selectie van stoffen plaats.
- In de darmepitheelcellen worden:
 - vetten gevormd uit glycerol en vetzuren. Hierna vindt opname plaats in bloed of lymfe. De meeste vetten worden opgenomen in de lymfe;

- aminozuren, monosachariden (o.a. glucose), vetten, mineralen en vitaminen opgenomen in het bloed.
- Het bloed uit de haarvaten van de maag tot en met de dikke darm stroomt door de poortader naar de lever.
- Blindedarm met appendix (wormvormig aanhangsel):
 - Bij blindedarmontsteking is de appendix ontstoken.
- Dikke darm:
 - Functie: resorptie van water, mineralen, glucose en vitamine K. Bij diarree wordt niet voldoende water uit de brij van onverteerde voedselresten geresorbeerd.
 - Darmbacteriën (darmflora): sommige soorten darmbacteriën produceren enzymen die cellulose in de celwanden van plantaardige voedselresten verteren. Andere soorten darmbacteriën produceren stoffen die belangrijk zijn voor de mens, zoals vitamine K.
- Endeldarm met anus:
 - Functie: verzamelen en tijdelijk opslaan van onverteerde voedselresten (ontlasting of feces).
 - Anus: kringspier die de endeldarm afsluit.

LEERDOEL 6 ►► BASISSTOF 5

Je kunt aangeven wat gezonde voeding is en wat de gezondheidsrisico's zijn van ongezonde of van te veel voeding.

- Voor informatie over voedingsstoffen, voedingsmiddelen en voedingspatronen in relatie tot gezondheid kun je de Schijf van Vijf gebruiken.
- Onbewerkt, vers en plantaardig voedsel is gezonder.
 - Sterk bewerkte voedingsmiddelen bevatten vaak veel kleurstoffen, smaakstoffen, geurstoffen, suiker, verzadigd vet en zout, en weinig mineralen, vitaminen en vezels.
 - Wanneer je veel sterk bewerkte voedingsmiddelen eet, heb je een verhoogde kans op welvaartsziekten als obesitas, diabetes type 2 en hart- en vaatziekten.
- Als je meer energie via je voeding binnenkrijgt dan je lichaam nodig heeft, loop je het risico zwaarder en dikker te worden door opslag van vet in het onderhuidse bindweefsel en rondom organen in je buik (buikvet).
 - De energiebehoefte van een mens is o.a. afhankelijk van het geslacht, de leeftijd, de omgevingstemperatuur, het lichaamsgewicht en de lichamelijke inspanning.
 - Te veel buikvet verhoogt de kans op hart- en vaatziekten, diabetes en kanker.
 - Door met je voedsel minder energie binnen te krijgen dan je verbruikt, val je af (bijv. producten kiezen met een gezondere samenstelling, tussendoortjes laten staan en meer bewegen).
- Door je tailleomtrek te bepalen en met de Body Mass Index (BMI) kun je bepalen of je een gezond gewicht hebt.
- Bij een te lage (ondergewicht) of te hoge (overgewicht) BMI heb je een grotere kans op ziekten.
- Cholesterol wordt in je bloed vervoerd door lipoproteïnen.
 - Cholesterol is een belangrijke bouwstof en je kunt niet zonder.
- VLDL (Zeer (very) Lage Dichtheid Lipoproteïne): lipoproteïnen die bestaan uit de cholesterol die je lever aanmaakt en andere vetten.
 - VLDL wordt afgegeven aan het bloed.
 - De cellen in weefsels nemen de meeste vetten uit VLDL op.
- LDL (Lage Dichtheid Lipoproteïne) ontstaat uit VLDL en bevat voornamelijk cholesterol.
 - Het merendeel van het LDL wordt opgenomen in de lever, bijniere en teelballen of eierstokken.
 - Overtollige LDL-cholesterol in het bloed kan zich afzetten tegen beschadigingen aan de binnenwand van de bloedvaten, waardoor deze kunnen dichtslibben en hart- en vaatziekten ontstaan.
 - Verzadigde vetzuren verhogen het LDL-gehalte.
- HDL (Hoge Dichtheid Lipoproteïne) voert LDL uit het bloed af naar de lever waar het wordt afgebroken.
 - HDL verlaagt het cholesterolgehalte van het bloed.
 - Onverzadigde vetzuren verhogen het HDL-gehalte.
- De cholesterol-HDL-ratio bepaalt of je een verhoogde kans hebt op hart- en vaatziekten.
 - Het totale cholesterolgehalte delen door het HDL.
 - Bij een ratio kleiner dan 4 is er geen verhoogde kans op hart- en vaatziekten.

COMPETENTIES/VAARDIGHEDEN

Je hebt de volgende vaardigheden geoefend:

- doelgericht zoeken, selecteren en verwerken van informatie;
- geven van een beargumenteerde mening;
- toepassen van verschillende fasen van natuurwetenschappelijk onderzoek;
- verzamelen, overzichtelijk weergeven en analyseren van data;
- verklaren hoe voeding invloed heeft op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen en organismen (systeemdenken);
- analyseren welke invloed voeding heeft op de gezondheid;
- vorm-functiedenken op de niveaus van moleculen, cellen, weefsels, organen, organismen, populaties, ecosystemen en biosfeer;
- beredeneren van gevolgen van veranderingen in een levensgemeenschap of ecosysteem (ecologisch denken).

Examentrainer

SUSHI

Bron: examen havo 2016-1, vraag 12 tot en met 16.

In een Frans laboratorium voor bio-informatica is het DNA van de zeebacterie *Zobellia galactivorans* geanalyseerd. Daarbij is een bijzondere overeenkomst tussen het DNA van deze zeebacterie en het DNA van darmbacteriën ontdekt.

De zeebacteriën maken enzymen om voedingsstoffen uit zeewier te verteren. Deze enzymen blijken ook door bepaalde menselijke darmbacteriën te worden gemaakt. Nader onderzoek wijst uit dat de genen voor die enzymen alleen voorkomen in darmbacteriën die geïsoleerd zijn uit poep van Japanners. Ze worden nooit aangetroffen in poep van Noord-Amerikanen. Waarschijnlijk hebben Japanse darmbacteriën de genen voor deze enzymen lang geleden overgenomen van zeebacteriën in het voedsel. En voor de bacteriën die in de darmen van Japanners leven, heeft dit extra DNA een groot voordeel. Japanners eten gemiddeld 14 g gedroogd zeewier per dag. Dit zeewier heeft voor de mens een lage voedingswaarde, want het bevat voornamelijk vezels. Deze vezels kunnen door de darmbacteriën met de zeebacterie-enzymen worden afgebroken tot voor de bacterie bruikbare stoffen. De gastheer profiteert ook van de door de bacterie verkregen eigenschap: de zeebacterie-enzymen verteren zeewier extracellulair (buiten de cel) en een deel van de verteringsproducten wordt door de darm opgenomen voordat de bacteriën deze producten zelf kunnen gebruiken.

Tegenwoordig hebben veel bacteriën in de darmen van Japanners genen van de zeebacterie.

- 2p 1 Leg uit hoe darmbacteriën met genen van de zeebacterie door natuurlijke selectie talrijk zijn geworden in de darmflora van Japanners.

De darmbacteriën scheiden enzymen uit die extracellulair grote organische moleculen afbreken tot kleinere opneembare moleculen. Ook bij de mens treedt extracellulaire vertering op.

- 2p 2 Geef hiervan een voorbeeld. Noteer de naam van een enzym, de klier waar dit enzym geproduceerd wordt en beschrijf de omzetting die dit enzym bewerkstelligt.

Vertering van cellulose uit de vezels van het zeewier door de darmbacterie levert bruikbare voedingsstoffen op voor de gastheer.

- 2p 3 Welke voedingsstoffen zijn dit?
- A mineralen
 - B monosachariden
 - C nucleotiden
 - D vitaminen

Zeewier wordt door Japanners gebruikt bij het maken van sushi. Sushi bestaat uit een hapje rijst omwikkeld met gedroogd zeewier, nori genoemd. De sushi is vaak gevuld met vis, garnalen of groenten.

▼ Afb. 1 Sushi.

Overmatige consumptie van sushi is niet zonder gevaar. De Amerikaanse acteur Jeremy Piven moest in het ziekenhuis worden opgenomen. Hij had last van duizelingen, evenwichtsstoornissen en geheugenproblemen. Dokters stelden de diagnose kwikvergiftiging. Piven at geen vlees, maar tweemaal daags sushi met vis. Vis, vooral tonijn kan veel kwik bevatten. Onderzoek heeft zelfs uitgewezen dat het stukje blauwvintonijn in één portie Japanse sushi meer kwik bevat dan de ADI-waarde (aanvaardbare dagelijkse inname). Zeeën en oceanen zijn vervuild met kwik. Anaerobe bacteriën zetten dit zware metaal om in dimethyلكwik, dat veel giftiger is dan anorganische kwikverbindingen. Via deze bacteriën komt het kwik in de voedselketen en via onder andere garnalen en haring in tonijn. Dimethyلكwik tast de uitlopers van zenuwen aan.

Sushi met garnalen vormt geen bedreiging voor de gezondheid.

- 2p 4 Waardoor is de concentratie kwik in sushi met tonijn wel boven de ADI-waarde en die in sushi met garnalen niet?
- A Tonijnen assimileren meer dan ze dissimileren, garnalen niet.
 - B Tonijnen eten meer dan garnalen eten.
 - C Tonijnen hebben een grotere variatie in voedsel dan garnalen.
 - D Tonijnen staan hoger in de voedselpiramide dan garnalen.

Het centraal zenuwstelsel bestaat uit het ruggenmerg, de hersenstam, de kleine hersenen en de grote hersenen.

- 1p 5 Welk deel van het centraal zenuwstelsel is bij Piven door kwikvergiftiging beschadigd, waardoor hij geheugenproblemen had?

VOEDING IN HET ZIEKENHUIS

Bron: examen havo 2017-2, vraag 1 tot en met 3.

Evan werkt als diëtist in het voedingsteam van een ziekenhuis. Tijdens zijn werk komt hij met veel aspecten van voeding in aanraking.

Het voedingsteam krijgt te maken met patiënten met zeer verschillende problemen. Hartpatiënten met overgewicht of een te hoog cholesterolgehalte worden door de cardioloog doorverwezen om hun dieet aan te passen. Nierpatiënten krijgen een dieet waarbij specifiek op een aantal voedingsstoffen wordt gelet. Mensen die bestraald zijn, hebben soms moeite met eten en een verstoorde spijsvertering. De meeste patiënten krijgen gewoon vast voedsel, maar sommigen krijgen hun voeding via een infuus in een bloedvat toegediend. Daarnaast moeten de diëtisten rekening houden met de medicatie van patiënten.

Bij mensen van wie de nieren minder goed functioneren, is de uitscheiding van ureum verstoord. Om te voorkomen dat de ureumconcentratie in het bloed te snel oploopt, adviseert Evan deze patiënten een aangepast dieet.

- 2p 6 Welke voedingsstoffen zijn in dit dieetadvies beperkt?
- A eiwitten
 - B koolhydraten
 - C vetten

De internist heeft Evan gevraagd aanwezig te zijn bij de controle van een patiënt met een resorptiestoornis. Bij deze stoornis worden te weinig of geen voedingsstoffen uit het voedsel opgenomen in het bloed. De benodigde voedingsstoffen moeten dan via een infuus in de bloedbaan worden toegediend.

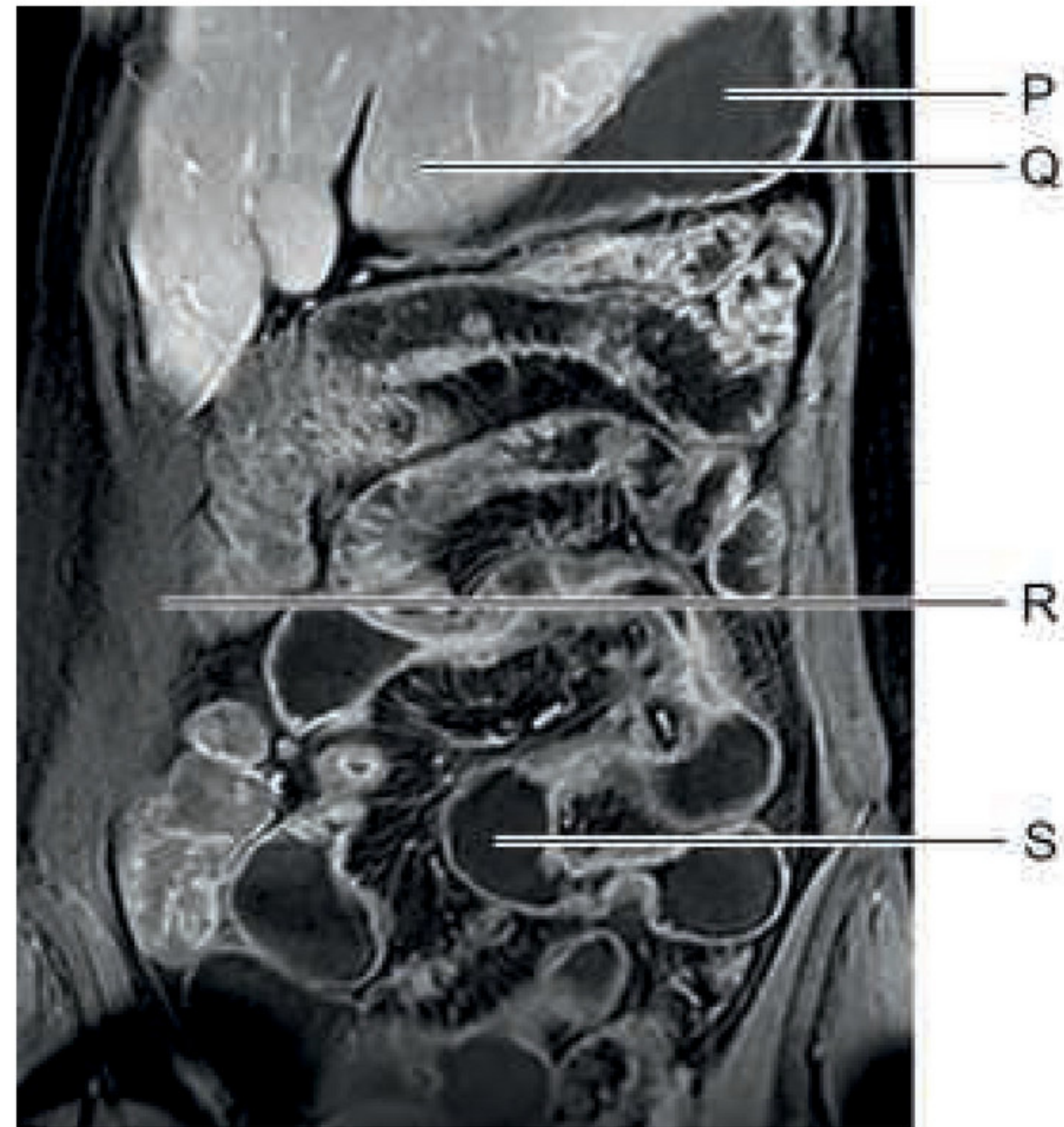
In afbeelding 2 is het beeld weergegeven van een MRI-scan van de patiënt met een resorptiestoornis.

- 1p 7 Noteer de letter die het gedeelte aangeeft dat bij deze patiënt niet goed functioneert.

Na de controle wordt Evan gevraagd een recept te schrijven voor de samenstelling van de infuusvloeistof. Voedingsstoffen in een normale maaltijd zijn onder andere zetmeel, eiwitten, glucose, vezels, vitaminen en aminozuren.

- 2p 8 Noteer welke van deze voedingsstoffen Evan in het recept moet opnemen.

▼ Afb. 2 MRI-scan.



BROOD: GLUTENVRIJ EN JODIUMRIJK

Bron: examen havo 2014-2, vraag 1 tot en met 3 en 5.

Mensen met een glutenvrij dieet wordt door de diëtiste geadviseerd om bakkerszout met extra jodium te gebruiken als zij zelf hun brood bakken. In de jaren zestig van de vorige eeuw werden bakkers verplicht om jodiumhoudend zout toe te voegen aan het brood. Als we te weinig jodium binnenkrijgen, kunnen allerlei klachten ontstaan, zoals vermoeidheid, futloosheid en het koud hebben. Op de lange termijn zijn obstipatie, menstruatie- en vruchtbaarheidsstoornissen, spier- en gewrichtsklachten mogelijk. Jodium is een bestanddeel van het hormoon thyroxine. Bij kinderen kan jodiumtekort leiden tot groeiachterstand, verminderd leervermogen en in een enkel geval tot dwerggroei.

- 2p 9 Op welk levensverschijnsel heeft een jodiumtekort bij de mens het meeste effect?
- A celstofwisseling
 - B gaswisseling
 - C reactie op prikkels
 - D spijsvertering
 - E uitscheiding

Bij coeliakiepatiënten die gluten met hun voedsel binnenkrijgen, verdwijnen de darmvlokken voor een belangrijk deel.

- 3p 10 Leg uit welke effecten dit heeft op het functioneren van de dunne darm.

Olympiade

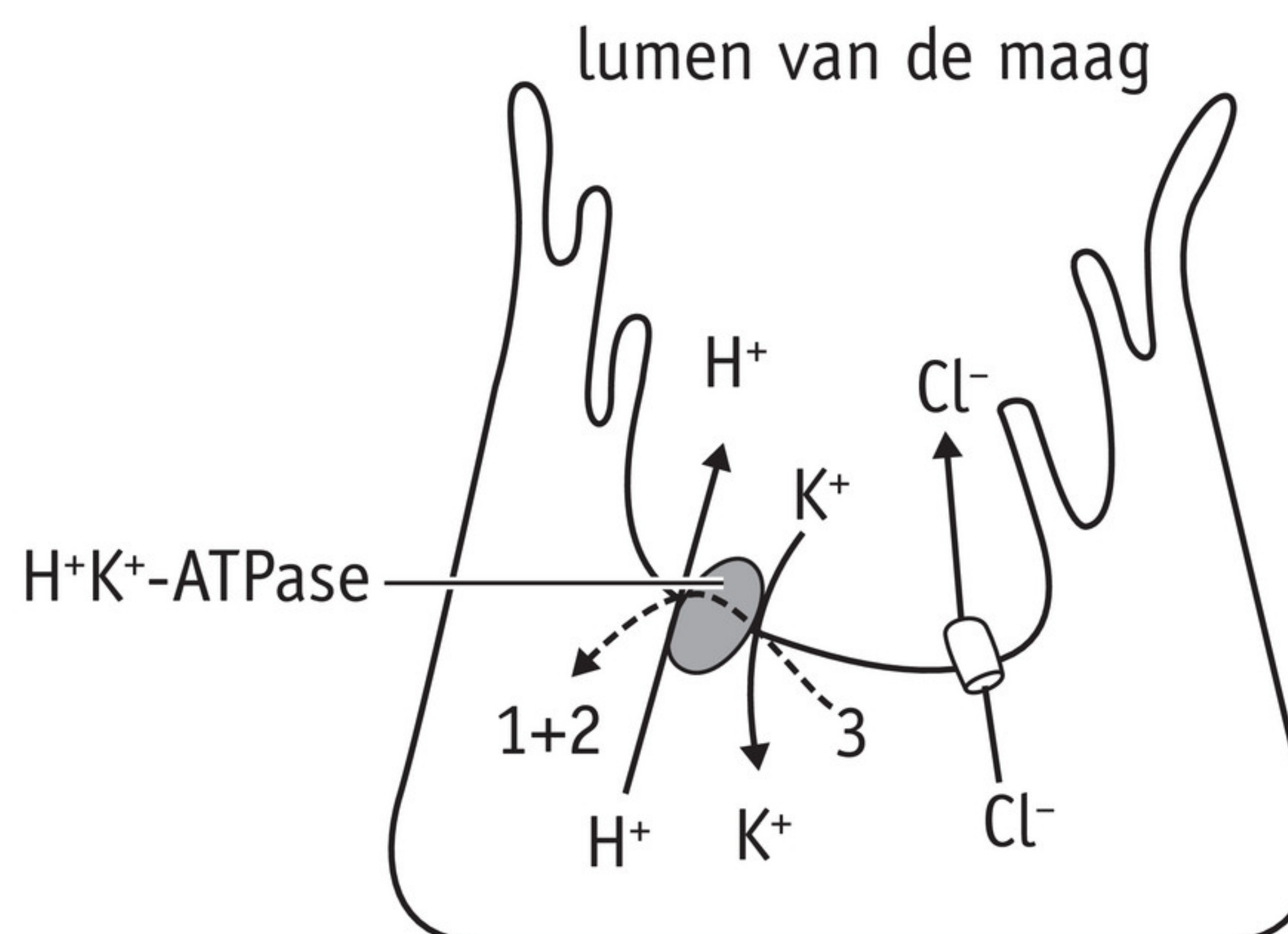
► VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2012, VRAAG 43

Sluit aan bij: T1, BS2

Membraantransport

- 1 In afbeelding 1 is schematisch het biochemische proces weergegeven met betrekking tot de afgifte van HCl door cellen van de maagwand. Deze afscheiding berust op de werking van ATP-ase dat zich bevindt in het plasmamembraan van de cel. Drie stoffen zijn met een nummer aangegeven.

► Afb. 1



- 1 Welke ionen of moleculen worden aangegeven met de nummers 1, 2 en 3?

	1 + 2	3
A	H ⁺ en Cl ⁻	HCl
B	K ⁺ en Na ⁺	ATP
C	K ⁺ en Cl ⁻	KCl
D	ADP en P _i	ATP
E	ATP en P _i	ADP

► VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2011, VRAAG 22

Sluit aan bij: T1, BS5

ATP-verbruik bontbekplevier

- 2 Een bontbekplevier, een trekvogel die in de herfst op de Nederlandse wadden verblijft, weegt 57 gram. In een rustperiode van vier uur, tijdens hoog water, verliest het dier gemiddeld vijf gram aan gewicht.

► Afb. 2 Bontbekplevier



Neem aan dat het gewichtsverlies alleen door aerobe dissimilatie van glucose ontstaat. De massa van 1 mol glucose = 180 gram.

Hoeveel mol ATP kost de ruststofwisseling van de bontbekplevier in deze vier uur gemiddeld? Rond af op een heel getal.

▶▶  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2012, VRAAG 9.
Sluit aan bij: T2, BS1

Biofysici trekken DNA los

3 In een onderzoek naar de bouw van DNA hechten onderzoekers plastic bolletjes aan de twee strengen van een DNA-molecuul vast. De bolletjes worden met een optische laserpincet beetgepakt en het DNA-molecuul wordt langzaam uit elkaar getrokken. Hierdoor raken basenparen los van elkaar.

Bij welke combinatie van basenparen gebeurt dat het makkelijkst of is er geen verschil?

- A A-T
- B C-G
- C er is geen verschil

▼ Afb. 3



▼ Afb. 4

▶▶  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2011, VRAAG 14-15.
Sluit aan bij: T2, BS3

Mutatie in membraaneiwit

4 HIV maakt gebruik van het eiwit CCR5 in het membraan van bepaalde T-lymfocyten om deze binnen te dringen. Het gen voor de synthese van CCR5 bestaat uit 17.500 basenparen. Van het gen zijn twee allelen bekend: het normale allel CCR5, dat codeert voor een eiwit bestaande uit 352 aminozuren en het gemuteerde allel CCR5Δ32, dat codeert voor een eiwit van 205 aminozuren. Het gemuteerde allel CCR5Δ32 vertoont een deletie van 32 nucleotiden. In onderstaande afbeelding is de normale en de afwijkende triplettenvolgorde weergegeven van het deel van de DNA-keten waar de deletie zich bevindt. Van beide allelen is alleen de coderende streng (dus niet de matrijs- of templatestreng) getekend.

CCR5	...TTT CCA TAC AGT CAG TAT CAA TTC TGG AAG AAT TTC CAG ACA TTA AAG ATA GTC ATC TTG GGG CTG GTC CTG CCG
CCR5Δ32	...TTT CCA TAC ----- delta 32 ----- ATT AAA GAT AGT CAT CTT GGG GCT GGT CCT GCC
	175 180 185

CCR5	CTG CTT GTC ATG GTC ATC TGC TAC TCG GGA ATC CTA AAA ACT CTG CTT CGG TGT CGA AAT GAG AAG AAG AGG ...
CCR5Δ32	GCT GCT TGT CAT GGT CAT CTG CTA CTC GGG AAT CCT AAA AAC TCT GCT TCG GTG TCG AAA TGA GAA GAA GAG G ...
	190 195 200 205

- a Wat zijn de eerste twee aminozuren die achtereenvolgens op basis van het gemuteerde allel CCR5 Δ 32 vanaf de plaats van de deletie worden ingebouwd in de eiwitketen?
- A asparagine en fenylalanine
 - B leucine en fenylalanine
 - C leucine en lysine
 - D lysine en fenylalanine
 - E isoleucine en lysine
- De eiwitketen die gecodeerd wordt door het gemuteerde allel is veel korter dan op basis van de deletie van 32 nucleotiden te verwachten is.
- b Waardoor is de eiwitketen extra kort geworden?

►►  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 2015, VRAAG 36.

Sluit aan bij: T3, BS1 en BS3

Voeding

- 5 In een medisch laboratorium worden verschillende monsters van het lichaam van een gezonde man geanalyseerd. Enkele van de in de monsters aangetroffen stoffen zijn:

I fibrinogeen	IV ureum
II lactase	V vitamine
III lactose	VI een essentieel vetzuur

Geef voor elke stof aan of deze wel of niet kan zijn aangetroffen in het bloed van de man.

►►  VOORRONDE BIOLOGIE OLYMPIADE 1997, VRAAG 28.

Sluit aan bij: T3, BS1, BS2, BS3 en BS4

Vertering bij koeien

- 6 Koeien hebben een bloedvatensysteem dat in principe overeenkomt met dat van een mens.
- Ook de manier waarop een koe met de voedingsstoffen in het lichaam omgaat is vergelijkbaar. Alleen de koe heeft niet één maag maar vier magen. In de eerste maag leven veel reducenten als bacteriën en eencelligen van het gras. De laatste maag heeft een functie die gelijk is aan de maag van een mens.
- Over een koe en de producten die de mens via de koe verkrijgt, worden de volgende beweringen gedaan:
- 1 In graskaas komen de graseiwitten voor.
 - 2 Eiwitten in het vlees van een koe zijn voor een deel opgebouwd uit aminozuren afkomstig van eiwitten van eencelligen.
 - 3 Bacteriële cellulases verhogen de opbrengst van de vertering van gras.
 - 4 Verhoging van het eiwitgehalte van het voer van een koe leidt tot verlaging van de ammoniakproductie door bacteriën in de uitwerpselen.
 - 5 Proteïna's zijn betrokken bij de vertering in het darmkanaal van een koe.
- Welke van deze beweringen is of welke zijn juist?

A

actief transport	122
actieve centrum	14
adenine	53
adenosinedifosfaat	12
adenosinetriposfaat	12
ADP (adenosinedifosfaat)	12
adulte stamcellen	71
alcoholgisting	30
alvleesklier (pancreas)	112
alvleessap	112
aminozuren, essentiële	102
aminozuur	23
amylase	116
anus	124
appendix	123
assimilatie	11
ATP (adenosinetriposfaat)	12

B

basale stofwisseling	34
basenpaar	54
basenparing	54
beperkende factor	34
biotechnologie	85
bladgroen	19
bladgroenkorrels	19
blindedarm	123
bouwstof	102
brandstoffen	102

C

cDNA	87
celdifferentiatie	71
cellulose	23
celtypen	71
chemische energie	10
chemische vertering	110
cholesterol	104
chromatiden	59
codon	64
codon, start-	65
codon, stop-	65
copyDNA (cDNA)	87
cytosine	53

D

darmepitheel	122
darmflora	123
darmperistaltiek	110
darmplooiën	122
darmvlokken	122
desoxyribose	53

dikke darm	123
dipeptiden	118
disacharide	22
dissimilatie	11
DNA	52
DNA, copy- (cDNA)	87
DNA, dubbelstrengs	54
DNA, enkelstrengs-	53
DNA, kern-	52
DNA, mt-	52
DNA, niet-coderend	55
DNA, repetitief	55
DNA-analyse	60
DNA-methylering	75
DNA-nucleotiden, vrije	58
DNA-polymerase	58
DNA-replicatie	58
dubbelstrengs DNA	54
dunne darm	122

E

eiwitten	102
embryonale stamcellen	71
emulgeren	112
endeldarm	124
enkelstrengs DNA	53
enzymactiviteit	15
enzymen	14
epigenetica	75
epigenetische factoren	75
essentiële aminozuren	102
essentiële vetzuren	103
extracellulaire vertering	113

F

fagocytose	113
feces	124
fosfolipiden	25
fotosynthese	11
fotosynthese, intensiteit van de	34

G

gal	112
galblaas	112
galkleurstoffen	112
galzouten	112
gebreeksziekten	107
gen	55
genetische code	64
genetische modificatie	85
genexpressie	69
genoom	52
genoommutaties	79

genregulatie	69
ggo	85
gisting	30
gisting, alcohol-	30
gisting, melkzuur-	30
glyceriden, tri-	25
glycerol	25
glycogeen	22
goedaardige tumor	82
guanine	53

H

helixstructuur	24, 54
hemoglobine	178
huig	111

I

intensiteit van de fotosynthese	34
intensiteit van de stofwisseling	34
intracellulaire vertering	113

K

kernDNA	52
koolhydraten	103
koolstofassimilatie	11
kwaadaardige tumor	82

L

lactase	118
lever	112,
lipase	118

M

maag	111
maag-darmholte	113
maagportier	111
maagsap	111
maltase	118
maltose	116
mechanische vertering	110
melkzuurgisting	30
metabolisme	10
metastase	82
microvilli	122
mineralen	106
monosacharide	22
mtDNA	52
mutagene stoffen	80
mutagene straling	80
mutatie	78
mutatie-, punt-	78

N

niet-coderend DNA	55
nucleïnezuur	53
nucleotide	53

O

oncogen	81
oncogenen, proto-	81
onverzadigde vetzuren	103

P

pancreas	112
pepsine	116
pepsinogeen	116
peptidasen	118
pH	16
plasmiden	52
polysacharide	22
poortader	123
primaire structuur	24
proto-oncogenen	81
puntmutatie	78

R

reactieproducten	14
recombinant-DNA-techniek	85
regulatorgenen	69
repetitief DNA	55
repressor	70
resorptie	123
ribose	63
RNA	63

S

sacharase	118
sacharide	22
sacharide, di-	22
sacharide, mono-	22
sacharide, poly-	22
secundaire structuur	24
sequensen	60
sequentie	55
slokdarm	111
sporelementen	106
stamcellen	71
stamcellen, adulte	71
stamcellen, embryonale	71
startcodon	65
stofwisseling (metabolisme)	10
stofwisseling, basale	34
stofwisseling, intensiteit van de	34
stopcodon	65
strotklepje	111

strottenhoofd	111
structuurgenen	70
substraat	14

T

telomeer	59
thymine	53
transcriptie	63
transgeen	85
translatie	65
triglyceriden	25
tripeptiden	118
trypsine	118
tumor	81
tumor, goedaardige	82
tumor, kwaadaardige	82
tumorsuppressorgen	80
twalfvingerige darm	112

U

uracil	63
--------------	----

V

verbranding	29
vertering, chemische	110
vertering, extracellulaire	113
vertering, intracellulaire	113
vertering, mechanische	110
verteringsenzymen	116
verteringsklieren	110
verteringsproducten	110
verteringssappen	110
verzadigde vetzuren	103
vetten	103
vetzuren, essentiële	103
vetzuren, onverzadigde	103
vetzuren, verzadigde	103
vetzuur	25
vitaminen	107
voedingsmiddelen	102
voedingsstoffen	102
voedingsvacuolen	113
voedingsvezels	103
voortgezette assimilatie	11
vrije DNA-nucleotiden	58

Z

zetmeel	22
---------------	----

AUTEURS

Deze release bouwt voort op de eerdere edities van BVJ geschreven door:

Arteunis Bos, Marianne Gommers, Arthur Jansen, Onno Kalverda, André van Leijen, Ruud Passier, Hans Rawee, Theo de Rouw, Gerard Smits, Ben Waas, René Westra

REDACTIE

Ivonne Hermens
Grada Hooijer

FOTO'S EN ILLUSTRATIES

123RF: thema 1: 1.2; thema 2: ontdekken lb, 7, 37, 46, samenhang1; olympiade: 3; Associated Press / Hollandse Hoogte, Den Haag: thema 1: ontdekken lb, 6; Erik Eshuis Infographics, Groningen: thema 1: 3, 26, 27, 28, 42; thema 2: 2, 8, 10, 15, 28, 40, 43, samenhang 2; thema 3: 4, 12, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 41, 45, samenhang 2; olympiade: 1, 4; Uit examen: thema 1: examentrainer 1, thema 2: examentrainer 1, examentrainer 2; thema 3: examentrainer 2; ANP Photo, Rijswijk: thema 1: 36; thema 2: ontdekken 1; thema 3: ontdekken lb; Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk: thema 1: 22.2; thema 2: 11, 18; thema 3: 37.1, 37.2; Beeldunie, Amsterdam: thema 2: 16; Boekomslag: Bjorn, Fotografie: Bob Barten: thema 2: 41; Martijn Boudestein Infographics, Rotterdam: thema 1: 19; PCE Brookhuis BV: thema 1: 44; Canstock: thema 1: 39; Dr. W. Gehring, University of Basel, Zwitserland: thema 2: 29; Getty Images: thema 3: 22, 45; www.glofish.com / Wikimedia Commons: thema 2: 44; Hollandse Hoogte, Den Haag: thema 2: ontdekken 2; Greg Hume / Wikimedia Commons: thema 3: samenhang 1 Imageselect, Wassenaar: thema 1: 15, 37; thema 2: 45; thema 3: 10; iStockphoto: thema 1: ontdekken 1; Medical Visuals / Maartje Kunen, Arnhem: thema 1: 7, 30, 31; thema 2: 3, 4, 5, 6, 12, 13, 14, 17, 20, 23, 32, 34, 35, 42; thema 3: 14, 17, 24, 32, 34; Merlijn Michon Fotografie, Amsterdam: thema 3: ontdekken 1, 1, 3, 5 mo, 6, 8, 9, 19; Reuters / Novum Nieuws, Amsterdam: thema 1: samenhang 1; Theo de Rouw, Merletcollege, Cuijk: thema 1: 43, practica 1; Shutterstock: thema 2: 15 l, m, r, 38, 39; thema 3: 2, 5 lb, rb, 13; olympiade: 2; Anouk de Veen, La Vita Sana voedingsadviesbureau, Lent: thema 1: 32; Voedingscentrum, Den Haag: thema 3: 38; Henk van de Vrande: thema 3: 23

ONTWERP

Uitgeverij Malmberg

OPMAAK

Pointer grafische vormgeving, Geldrop

BEELDVERWERVING

B en U International Picture Service, Amsterdam

BEELDEN OMSLAG EN THEMAOPENINGEN

omslag: meeldraad hybicus: Science Photo Library / ANP Photo, Rijswijk
thema 1: plantencellen, Getty Images
thema 2: foto's kijken, Hollandse Hoogte, Den Haag
thema 3: ontbijt, Hollandse Hoogte, Den Haag

De uitgever heeft getracht met alle rechthebbenden op beelden en tekst in contact te treden. Mogelijk is dit niet in alle gevallen gelukt. Degene die meent op beelden en/of tekst recht te kunnen doen gelden, wordt verzocht in contact te treden met Uitgeverij Malmberg te 's-Hertogenbosch.

ISBN 978 94 020 6505 3

Release 2020, eerste oplage

MALMBERG

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j° het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van

23 augustus 1985, St.b. 471, en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

© Malmberg 's-Hertogenbosch



Je mag dit boek houden.
Handig als naslagwerk.



Je mag in dit boek schrijven
en aantekeningen maken.



Je hebt ook toegang tot
de online leeromgeving.

EINDREDACTIE

Ilse Gmelig

Lineke Pijnappels

AUTEURS

Marianne Gommers

Arthur Jansen

André van Leijen

Ruud Passier

Hans Rawee

Theo de Rouw

MET MEDEWERKING VAN

Paula van Kranenburg

Cees Mulder

René Westra

ISBN 978 94 020 6505 3



9 789402 065053

593619